



TUGAS AKHIR - TE 141599

ANALISA PENGGUNAAN *HYBRID SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER* (SFCL) PADA SISTEM PROTEKSI TENAGA LISTRIK DI KAWASAN TURSINA

Mufidah Sa'adah
NRP 2214105041

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**ANALYSIS OF HYBRID SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT
LIMITER (SFCL) USAGE ON POWER SYSTEM PROTECTION
IN TURSINA REGION**

Mufidah Sa'adah
NRP 2214105041

Advisor
Dr. Ir. Margo Pudjiantara, MT.
Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

**ANALISA PENGGUNAAN HYBRID SUPERCONDUCTING
FAULT CURRENT LIMITER (SFCL) PADA SISTEM PROTEKSI
TENAGA LISTRIK DI KAWASAN TURSINA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Margo Pujiatara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.
NIP. 195512071980031004



ANALISA PENGGUNAAN *HYBRID SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER* (SFCL) PADA SISTEM PROTEKSI TENAGA LISTRIK DI KAWASAN TURSINA

Nama Mahasiswa : Mufidah Sa'adah
Nrp : 2214105041
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP : 196603181990101001
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.
NIP : 195512071980031004

ABSTRAK

Sistem tenaga listrik yang baik adalah sistem yang dapat menjamin keandalan dan kesinambungan penyaluran. Kenaikan arus hubung singkat mengakibatkan koordinasi proteksi menjadi tidak tepat sehingga keandalan sistem menurun akibat pemutusan tidak berada tepat pada titik gangguan yang seharusnya. Pada saat dilakukan simulasi gangguan pada *incoming feeder* Tursina terjadi kesalahan koordinasi proteksi dengan terputusnya rele diluar kawasan Tursina karena *setting lowset* rele tersebut lebih rendah dari arus hubung singkat yang lewat. Untuk mengurangi arus hubung singkat yang mengalir pada *feeder* yang memiliki arus gangguan terbesar diperlukan impedansi tambahan salah satunya menggunakan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) agar tidak perlu dilakukan *resetting* pada sistem utama ring PT. Pupuk Kaltim. Setelah dilakukan penempatan dan *setting* SFCL pada *incoming feeder* Tursina terjadi penurunan arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle dari 16,1kA menjadi 3,44kA maka dilakukan koordinasi ulang rele arus lebih sehingga menghasilkan kerja rele yang sesuai pada titik gangguan dan meningkatkan keandalan sistem. Hasil koordinasi ditampilkan menggunakan kurva *Time Current Curve* (TCC).

Kata Kunci: Arus Hubung Singkat 3 fasa, *Hybrid* SFCL, Koordinasi Proteksi, Rele Arus Lebih.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

ANALYSIS OF HYBRID SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (SFCL) USAGE ON POWER SYSTEM PROTECTION IN TURSINA REGION

Name : Mufidah Sa'adah
NRP : 2214105041
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP : 196603181990101001
Advisor II : Dr. Ir. Soedibjo, M.MT.
NIP : 195512071980031004

ABSTRACT

A great power system is a system that can assure its reability and the continuity of distribution. The increasing of short circuit current makes protection-coordination become inaccurate, therefore it reduce system's realibility due to inaccurate tripping of fault point. When simulating the fault at incoming feeder of Tursina, there was a mess protection-coordination, breaker on the outside of Tursina is open due to its low set lower than contribution current from Kanibungan to Tursina. To reduce short circuit current on the feeder which has the biggest short circuit current, an additional impedance is needed, one of this additional impedance is Hybrid Superconducting Fault Current Limiter (SFCL), so there is no need to do resetting at main system of PT. Pupuk Kaltim. After SFCL's installation has done at the incoming feeder of Tursina, there was decreasment of 3 phase $\frac{1}{2}$ cycle short circuit current from 16,1 kA to 3,44 kA so the resetting of overcurrent relay is needed, so the relays work based on the right sequence at the fault point and increase its realibility. Protection-coordination showed as Current Time Curve (TCC).

Keywords : 3-phase short-circuit currents, Overcurrent relay, Superconducting Fault Current Limiter

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR ISI

JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan dan Batasan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metode Penelitian	2
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik[1]	5
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat	5
2.1.1.1 Gangguan Hubung Singkat Simetri[2]	6
2.1.1.2 Gangguan Hubung Singkat tak simetri	6
2.1.2 Gangguan Beban Lebih (Over Load)	8
2.2 Sistem Pengaman Tenaga Listrik	9
2.2.1 Rele Arus Lebih (<i>over current relay</i>)	10
2.2.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (<i>Definite</i>)	11
2.2.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (<i>Instantaneous</i>)	12
2.2.1.3 Arus Lebih Waktu Terbalik (<i>Inverse</i>)	12
2.3 <i>Hybrid Superconductor Fault Current Limiter (SFCL)</i> [3]	15
2.3.1 Kondisi Operasi Normal	18
2.3.2 Kondisi Ketika Terjadi Gangguan	19
BAB III SISTEM KELISTRIKAN DI TURSINA	21
3.1 Data Rating Tegangan di Tursina	22
3.2 Data Pembangkit di Tursina	23

3.3	Data Transformator di Tursina.....	23
3.4	Data Beban di Tursina.....	24
BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISA.....		25
4.1	Analisa <i>Tripping Sequence</i>	26
4.1.1	<i>Tripping Sequence</i> tanpa SFCL	26
4.1.2	<i>Tripping Sequence</i> dengan SFCL	32
4.2	Pemasangan Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)	39
4.2.1	Pemilihan Letak SFCL	40
4.2.2	Perhitungan nilai reaktansi current limiter reactor (CLR).....	41
4.2.3	Cara Kerja SFCL	41
4.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	43
4.3.1	Pemilihan Tipikal Koordinasi Pada Kawasan Tursina	44
4.3.2	Analisa Hubung Singkat	45
4.3.2.1	Hubung Singkat Minimum	45
4.3.2.2	Hubung Singkat Maksimum	46
4.3.3	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1	47
4.3.4	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2	63
4.3.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3	71
4.3.6	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4	82
4.3.7	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5	91
BAB V PENUTUP		99
5.1	Kesimpulan	99
5.2	Saran	100
DAFTAR PUSTAKA		101
BIOGRAFI PENULIS		103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konstanta Kurva IEEE[7]	13
Tabel 2.2	Parameter Pemodelan Peningkatan Resistasi Terhadap Temperatur [5].....	17
Tabel 3.1	Data pembangkit PT. KDM	23
Tabel 3.2	Data transformator PT. KDM.....	24
Tabel 3.3	Data <i>lump load</i> di Tursina	24
Tabel 4.1	<i>Tripping Time</i> rele <i>existing</i> tanpa SFCL	26
Tabel 4.2	<i>Tripping Time</i> rele <i>existing</i> dengan SFCL.....	33
Tabel 4.3	Data Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle	46
Tabel 4.4	Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle	47
Tabel 4.5	Data Setting Rele Awal Pada Tipikal 1	49
Tabel 4.6	Data <i>Resetting</i> Rele Pada Tipikal 1	61
Tabel 4.7	Data Setting rele Awal Pada Tipikal 2	64
Tabel 4.8	Data <i>Resetting</i> rele Pada Tipikal 2	70
Tabel 4.9	Data Setting rele Awal Pada Tipikal 3	73
Tabel 4.10	Data <i>resetting</i> rele Tipikal 3	81
Tabel 4.11	Data awal <i>setting</i> rele Tipikal 4.....	84
Tabel 4.12	Data <i>resetting</i> rele Tipikal 4	90
Tabel 4.13	Data awal <i>setting</i> rele Tipikal 5.....	92
Tabel 4.14	Data <i>resetting</i> rele Tipikal 5	96

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	6
Gambar 2.2	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	7
Gambar 2.3	Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah	7
Gambar 2.4	Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah	8
Gambar 2.5	Skema Konsep Kerja Rele [1]	9
Gambar 2.6	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	12
Gambar 2.7	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika	12
Gambar 2.8	Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih Inverse	14
Gambar 2.9	Rangkaian <i>Hybrid Superconducting Fault Current Limiter</i> (SFCL)[4]	15
Gambar 2.10	Peningkatan resistansi dan temperatur <i>superconductor</i> [5]	18
Gambar 2.11	Kondisi Operasi Normal	19
Gambar 2.12	Kondisi Sensing Ketika Terjadi Arus Gangguan	19
Gambar 2.13	Kondisi Terjadi Gangguan Setelah Coil Aktif	20
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram ring</i> PKT	21
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> Tursina	22
Gambar 4.1	<i>Case</i> pengamatan <i>Tripping Sequence</i>	25
Gambar 4.2	<i>Tripping Sequence</i> tanpa SFCL pada (a) <i>case</i> A (b) <i>case</i> B (c) <i>case</i> C (d) <i>case</i> D (e) <i>case</i> E (f) <i>case</i> F	32
Gambar 4.3	<i>Tripping Sequence</i> dengan SFCL pada (a) <i>case</i> A (b) <i>case</i> B (c) <i>case</i> C (d) <i>case</i> D (e) <i>case</i> E (f) <i>case</i> F	39
Gambar 4.4	<i>Single Line Diagram</i> Pemasangan SFCL	40
Gambar 4.5	Arus pada kondisi normal	41
Gambar 4.6	Arus pada kondisi gangguan	42
Gambar 4.7	Perbandingan Arus gangguan tanpa dan dengan hybrid SFCL	42
Gambar 4.8	Grafik Proses Kerja SFCL	43
Gambar 4.9	Single line diagram tipikal 1 sampai 4	45
Gambar 4.10	Rangkaian Tipikal 1	48
Gambar 4.11	Kurva Setting Rele Awal Pada Tipikal 1	50
Gambar 4.12	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1	62
Gambar 4.13	Rangkaian Tipikal 2	63
Gambar 4.14	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 2	65
Gambar 4.15	Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2	71
Gambar 4.16	Rangkaian Tipikal 3	72

Gambar 4.17 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 3	74
Gambar 4.18 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3	82
Gambar 4.19 Rangkaian Tipikal 4	83
Gambar 4.20 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 4	85
Gambar 4.21 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 4	91
Gambar 4.22 Rangkaian Tipikal 5	92
Gambar 4.23 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 5	93
Gambar 4.24 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 5	97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam sistem tenaga listrik diperlukan sistem proteksi yang dapat menjamin keandalan dan kesinambungan penyaluran. Koordinasi proteksi yang tepat merupakan salah satu faktor keandalan sistem tenaga listrik. Pengaturan peralatan pengaman tenaga listrik saat terjadi gangguan mempengaruhi kelangsungan penyaluran daya. Diperlukan pengaturan yang tepat agar dapat memutus arus gangguan dititik terjadinya gangguan. Respon dari peralatan pengaman yang salah dapat menyebabkan keandalan sistem menurun karena pemutusan tidak berada pada titik gangguan yang seharusnya.

Tursina merupakan salah satu pelabuhan serta gudang milik PT. Pupuk Kaltim Tbk (PKT) yaitu salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang memproduksi Pupuk. Ketika terjadi gangguan pada penyulang masukan dari Tursina, terdapat kesalahan kerja peralatan pengaman yaitu terjadi pemutusan disistem utama *Ring* PKT dan diluar kawasan Tursina salah satunya Kanibungan. Hal ini menyebabkan keandalan di PKT menurun karena wilayah yang tidak terkena gangguan menjadi padam akibat dari kesalahan pendeteksian gangguan. Jika dilakukan perubahan *setting* pada pengaman sistem utama *ring* PKT, mengakibatkan seluruh sistem pengaman PKT harus dikoordinasi ulang sehingga akan lebih sulit dan lebih banyak pengaman yang harus di *setting* ulang. Berdasarkan pada kejadian tersebut dibutuhkan perubahan *setting* pengaman pada sistem eksisting wilayah Tursina saja tanpa mengubah eksisting dari sistem utama PKT.

Agar penggantian *setting* peralatan disistem utama *Ring* PKT dan diluar kawasan Tursina tidak dilakukan, maka arus gangguan hubung singkat harus dibatasi sehingga nilainya berada dibawah *setting lowset* rele pada *ring* tursina. Untuk mengurangi besarnya arus gangguan hubung singkat yaitu dengan memasang impedansi tambahan salah satunya dengan menggunakan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL). SFCL diletakkan pada *feeder* yang memiliki arus hubung singkat terbesar. Ketika keadaan normal SFCL bertindak seperti *feeder* sedangkan ketika terjadi gangguan SFCL akan mereduksi arus gangguan menggunakan impedansi yang ada pada *Current Limiting Reactor* (CLR). Analisa hubung singkat serta studi koordinasi dalam bentuk kurva *time*

current characteristic (TCC) disimulasikan menggunakan *software* ETAP 12.6.

1.2 Permasalahan dan Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana prinsip kerja *Hybrid* SFCL.
2. Bagaimana pengaturan *Hybrid* SFCL yang tepat untuk membatasi arus gangguan hubung singkat yang tinggi.
3. Bagaimana koordinasi proteksi rele arus lebih setelah pemasangan *Hybrid* SFCL.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah dalam Tugas Akhir ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Simulasi dan analisa menggunakan *software* ETAP 12.6
2. Analisa hubung singkat yang dilakukan adalah 3 *phase fault* dan *line to line* $\frac{1}{2}$ cycle, 4 cycle serta 30 cycle.
3. Pemasangan *Hybrid* SFCL pada *feeder* yang menghubungkan *incoming* Tursina dan *ring* PKT untuk membatasi arus hubung singkat.
4. Koordinasi Proteksi yang dilakukan adalah koordinasi proteksi rele arus lebih untuk gangguan fasa.

1.4 Tujuan

Tugas Akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui prinsip kerja *Hybrid* SFCL.
2. Mengetahui *setting* *Hybrid* SFCL untuk membatasi arus yang mengalir ke titik gangguan.
3. Mengetahui cara koordinasi rele arus lebih untuk gangguan fasa setelah pemasangan *Hybrid* SFCL di Tursina.

1.5 Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Mencari literatur dan ide yang berhubungan dengan tugas akhir.
Literatur yang diperlukan meliputi karakteristik *Hybrid* SFCL, analisa

- hubung singkat 3 fasa serta koordinasi rele arus lebih pada sistem kelistrikan.
2. Pengumpulan Data
Melakukan pengumpulan data-data mengenai sistem kelistrikan Tursina dan PKT yang meliputi *single line diagram* serta data-data peralatan seperti *rating* generator, trafo, motor, bus dan lainnya.
 3. Pemodelan Sistem dan Simulasi
Melakukan simulasi dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.
 4. Analisa Data Arus Hubung Singkat
Membahas nilai arus hubung singkat yang terjadi pada masing-masing bus yang terpasang pada Tursina.
 5. Penarikan Kesimpulan
Memberikan kesimpulan mengenai pemakaian *Hybrid* SFCL sebagai pereduksi arus hubung singkat yang tepat pada sistem Kelistrikan Tursina.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

BAB II : Dasar Teori

Bab ini secara garis besar membahas sistem kelistrikan industri, arus hubung singkat, penjelasan mengenai sistem pengaman, gangguan elektris yang terjadi pada sistem kelistrikan.

BAB III : Sistem Kelistrikan

Bab ini membahas sistem kelistrikan industri dan spesifikasi beban pada Tursina.

BAB IV : Simulasi dan Analisa

Bab ini membahas data hasil arus gangguan hubung singkat pada *feeder* yang disimulasikan kemudian menentukan koordinasi setelah pemasangan *Hybrid* SFCL dengan rele arus lebih.

BAB V : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik[1]

Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan suatu keadaan tidak normal yang mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Berdasarkan asalnya, terdapat dua macam gangguan yaitu:

1. Gangguan berasal dari dalam sistem

Penyebab Gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain disebabkan oleh kesalahan mekanis yaitu terjadi karena proses penuaan atau karena kerusakan material seperti kawat putus, isolator pecah, retaknya bearing, dll, Pemasangan yang kurang baik, Tegangan dan arus tidak normal pada sistem serta beban yang melebihi kapasitas sistem.

2. Gangguan berasal dari luar sistem

Gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir, pengaruh lingkungan antara lain pohon tumbang, benda asing jatuh, dan juga akibat kecerobohan manusia. Pada gangguan surja petir dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus pada isolasi peralatan (*breakdown*).

Berdasarkan sifat gangguan, maka jenis gangguan pada sistem tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Gangguan sementara (*temporary*)

Merupakan gangguan dapat hilang dengan sendirinya atau pada bagian yang terganggu diputus secara sesaat dari sumber tegangannya.

2. Gangguan permanen (*stationary*)

Merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga telah terbuka. Untuk menghilangkan gangguan permanen diperlukan tindakan perbaikan pada titik penyebab gangguan tersebut.

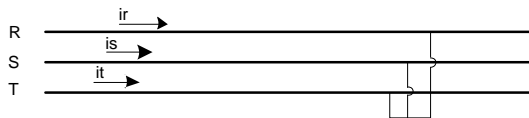
2.1.1 Gangguan Hubung singkat

Gangguan ini disebabkan adanya saluran fasa yang terhubung dengan saluran fasa lainnya atau terhubung dengan *ground*. Gangguan ini dapat menyebabkan terjadinya arus yang sangat besar sehingga dapat merusak peralatan listrik yang ada di sekitar titik gangguan. Besarnya arus gangguan hubung singkat dapat ditentukan berdasarkan impedansi

dari peralatan listrik pada sistem tersebut. Gangguan hubung singkat sendiri dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu:

2.1.1.1 Gangguan hubung singkat simetri[2]

Gangguan hubung singkat simetri atau disebut gangguan hubung singkat seimbang yaitu gangguan yang terjadi pada semua fasanya, sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif. Gambar rangkaian hubung singkat tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Besarnya arus hubung singkat tiga fasa dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{x_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

- $I_{sc\ 3\phi}$: arus hubung singkat 3 fasa
- V_{LN} : tegangan nominal *line to netral*
- x_1 : reaktansi urutan positif

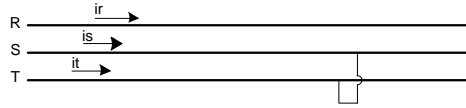
2.1.1.2 Gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri)

Gangguan hubung singkat asimetri atau disebut gangguan tidak seimbang yaitu gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Gangguan tidak simetri akan menyebabkan mengalirnya arus tak seimbang dalam sistem. Gangguan hubung singkat ini dapat mengakibatkan arus yang sangat besar pada fasa yang mengalami gangguan dan juga dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan. Gangguan ini terdiri dari:

1. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi antara kedua fasanya. Gangguan ini tidak

mengandung komponen urutan nol karena tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Gambar rangkaian hubung singkat dua fasa dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Besarnya arus hubung singkat dua fasa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

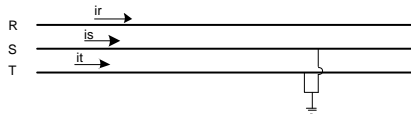
$$I_{sc\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{x_1 + x_2} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times x_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{sc\ 3\phi} \approx 0.866 \times I_{sc\ 3\phi} \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

- $I_{sc\ 3\phi}$: arus hubung singkat 3 fasa
- $I_{sc\ 2\phi}$: arus hubung singkat 2 fasa
- V_{LN} : tegangan nominal *line to neutral*
- V_{LL} : tegangan nominal *line to line*
- x_1 : reaktansi urutan positif
- x_2 : reaktansi urutan negatif

2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

Gangguan hubung singkat 2 fasa ketanah merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi ketika kedua fasanya terhubung ke tanah. Gambar rangkaian hubung singkat dua fasa ketanah dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ketanah

Besarnya arus hubung singkat dua fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{A1} = \frac{V_f}{z_1 + z_2 + z_0 / (z_2 + z_0)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

I_{A1} : Arus hubung singkat 2 fasa ketanah

V_f : tegangan bus saat gangguan

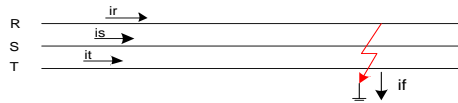
z_1 : impedansi urutan positif

z_2 : impedansi urutan negatif

z_3 : impedansi urutan nol

3. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan jenis gangguan asimetris, sehingga memerlukan metode komponen simetris untuk menganalisa arus gangguan saat terjadi gangguan. Gambar rangkaian hubung singkat satu fasa ketanah dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ketanah

Besarnya arus hubung singkat satu fasa ketanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$I_{sc\ 1\phi} = \frac{3V_{LN}}{x_1 + x_2 + x_0} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

$I_{sc\ 1\phi}$ = Arus hubung singkat 1 fasa ketanah

V_{LN} = tegangan nominal *line to netral*

x_0 = reaktansi urutan nol

x_1 = reaktansi urutan positif

x_2 = reaktansi urutan negatif

2.1.2 Gangguan Beban Lebih (Over Load)

Gangguan beban lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat konsumsi daya listrik melebihi daya listrik yang dihasilkan pada pembangkit. Bila gangguan ini dibiarkan terus menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.2 Sistem Pengaman Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memperhatikan faktor keamanan dan keandalan penyaluran daya. Pada kenyataannya suatu sistem dapat terjadi kondisi gangguan atau hubung singkat yang dapat membahayakan sistem secara keseluruhan serta dapat menurunkan keandalan, sehingga diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat meminimalisasi efek dari gangguan tersebut. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus mengamankan bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar.

Rele adalah suatu peralatan pengaman pada sistem tenaga listrik yang bekerja dengan cara mendeteksi arus gangguan dan memerintahkan pemutus untuk bekerja agar memisahkan aliran daya antara area yang terkena gangguan dan area yang normal. Skema dari kerja rele pengaman ditampilkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema Konsep Kerja Rele [1]

Rele proteksi sebagai komponen utama sistem proteksi tenaga listrik dalam melaksanakan tugasnya yaitu untuk mengidentifikasi gangguan harus memenuhi persyaratan keandalan (*reliability*) sebagai berikut:

1. Kecepatan bereaksi
Semakin cepat waktu pemutusan arus gangguan maka dapat mengurangi dampak gangguan serta menjaga kestabilan sistem.
2. Sensitivitas
Kemampuan dari rele pengaman untuk merespon adanya gangguan di dalam daerah yang diproteksinya. Rele harus cukup peka dalam mengidentifikasi adanya gangguan minimum.
3. Selektivitas
Kemampuan rele pengaman untuk menentukan titik terjadinya gangguan serta melakukan pemutusan pada *breaker* secara tepat. Dalam hal ini rele hanya membuka pemutus tenaga yang diperlukan saja (tidak menyebabkan pemutusan/pemadaman jaringan yang lebih luas).

4. Keandalan
Kemampuan sistem proteksi untuk menjamin peralatan proteksi akan bekerja jika terjadi suatu gangguan dan tidak akan bekerja jika tidak terjadi gangguan.
5. Ekonomis
Pertimbangan pemilihan peralatan yang harus atau tidak untuk dipasang sebagai peralatan pengaman perlu direncanakan agar tercapai sistem pengaman yang efektif dan ekonomis.

2.2.1 Rele Arus Lebih (Over Current Relay)

Rele arus lebih digunakan untuk mengamankan gangguan beban lebih (overload) dan gangguan hubung singkat (short circuit). Rele arus lebih bekerja berdasarkan besarnya arus masukan dan apabila besarnya arus masukan melebihi suatu harga tertentu yang dapat diatur (I_{pp}) maka rele arus lebih tersebut akan bekerja.

Rele arus lebih ini beroperasi ketika terdapat arus yang mengalir pada rangkaian melebihi batas *setting* yang telah di ijinakan. Penggunaan rele arus lebih pada sistem kelistrikan industri harus di sesuaikan berdasarkan koordinasi rele yang telah di *setting* dengan benar. Sehingga ketika pada sistem terjadi suatu gangguan rele ini bisa bekerja dengan cepat. Rele arus lebih akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut:

$I_f > I_{pp}$ rele bekerja (trip)

$I_f < I_{pp}$ tidak bekerja (blok)

Setting rele arus lebih tidak boleh bekerja pada saat beban maksimum. Arus *setting* harus lebih besar dari arus beban maksimum. Menurut Standart British BS 142- 1983 batas penyetelan antara nominal 1,05 – 1,3 I_{set} [9]. Mengacu pada standart tersebut, pada tugas akhir ini lebih amannya menggunakan konstanta 1,05 I_{set} . Jadi untuk *setting* dapat dilihat sebagai berikut:

$$I_{set} \geq 1,05 \times I_{nominal} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$I_s = \frac{I_{set}}{rasio\ ct} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana :

I_s = arus *setting*

$$Pemilihan\ tap = \frac{I_s}{ct} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$I_{aktual} = tap \times I_{nominal} \times ct \dots \dots \dots (2.8)$$

Dicari nilai dibawahnya yang terdekat.

Pada penyetelan rele arus lebih juga harus memperhatikan batas maksimum *setting*, untuk alasan keamanan dan *back up* hingga ke sisi muara estimasi *setting* ditetapkan[10]:

$$I_s \leq 0,8 \times I_{sc \text{ minimum}} \dots \dots \dots (2.9)$$

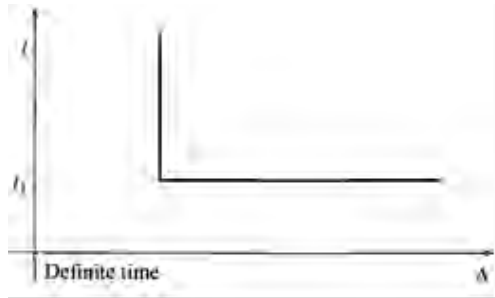
Isc minimum adalah arus hubung singkat 2 phasa dengan pembangkitan minimum yang terjadi diujung saluran seksi berikutnya. Besar arus ini diperoleh dari arus hubung singkat 3 phasa pada pembangkitan minimum dikalikan 0,866. Mengacu pada konsep diatas persyaratan setelan arus dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$1,05 \times I_{nominal} \leq I_s \leq 0,8 \times I_{sc \text{ minimum}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Untuk operasi yang selektif, apabila terdapat beberapa rele arus lebih pada suatu jaringan radial. Maka rele pada ujung yang terjauh dari sumber harus disetel untuk dapat bekerja pada waktu yang sesingkat mungkin. Untuk jenis rele arus yang lebih karakteristik *inverse*, *setting* waktunya ditentukan pada saat arus gangguan maksimum. Karakteristik waktu rele arus lebih dapat dibedakan dalam beberapa jenis antara lain:

2.2.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite*)

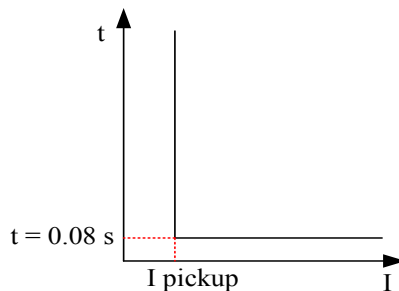
Pada penggunaan rele arus lebih waktu tertentu memungkinkan pengaturan waktu operasi yang bervariasi berdasarkan level arus yang berbeda. Sistem rele ini dapat disesuaikan sedemikian rupa sehingga PMT yang paling dekat dengan sumber gangguan akan bekerja (*trip*) lebih cepat daripada yang lain, dan pengaman sisanya akan *trip* lebih cepat daripada yang lain, dan pengaman sisanya akan *trip* setelah waktu tunda (*time delay*) yang diberikan gangguan masih terus berlanjut. Pada rele arus lebih waktu tertentu, semua level arus yang melebihi *pick-up setpoint*-nya akan diputuskan dalam waktu yang sama (*definite*). Gambar 2.6 merupakan karakteristik rele arus lebih waktu tertentu.



Gambar 2.6 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.2.1.2 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous*)

Rele ini bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai *setting*, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik. Rele arus lebih seketika memiliki prinsip kerja rele tanpa penundaan waktu. Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain. Gambar 2.15 merupakan karakteristik rele arus lebih waktu seketika



Gambar 2.7 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Seketika

2.2.1.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse*)

Rele arus lebih waktu terbalik memiliki batas *setting* yaitu rele tidak boleh bekerja saat beban maksimum, sehingga *setting* arus dari rele ini harus lebih besar dari arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan. Arus beban penuh suatu peralatan listrik tergantung dari

besarnya kapasitas daya, tegangan, dan power faktor dari peralatan tersebut. Pada british standard BS 142 terdapat aturan faktor pengali arus beban penuh ketika *setting* rele arus lebih yaitu $1.05 I_{FLA} < I_{set} < 1.4 I_{FLA}$.

Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik operasi rele *inverse* bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dapat dibedakan dalam beberapa kelompok:

1. *Very inverse*

Berdasarkan standard ANSI kurva IEEE[7] adapun karakteristik operasi rele *invers* adalah sebagai berikut:

$$t_d(I) = \left[\frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^P - 1} + B \right] \times \frac{T}{\beta} \dots \dots \dots (2.11)$$

Tabel 2.1 Konstanta Kurva IEEE[7]

Characteristic curve	A	B	P	β
IEEE Moderately Inverse	0.010	0.023	0.02	0.241
IEEE Very Inverse	3.922	0.098	2	0.138
IEEE Extremely Inverse	5.64	0.0243	2	0.081

Rumus perhitungan *time dial* untuk karakteristik *very inverse* berdasarkan pada ANSI kurva IEEE adalah:

$$t_d(I) = \left[\frac{3.922}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^2 - 1} + 0.098 \right] \times \frac{T}{0.138} \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana:

T = time *setting* = time dial

td = waktu operasi

Berdasar Standart IEC[2] Karakteristik operasi rele *very invers* sebagai berikut:

$$t = \frac{13,5}{I - 1} \text{ s} \dots \dots \dots (2.12)$$

2. Standard inverse

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02} - 1} \text{ s} \dots \dots \dots (2.11)$$

3. Extremely inverse

$$t = \frac{80}{(I^2 - 1)} \text{ s} \dots \dots \dots (2.13)$$

4. Long Time inverse

$$t = \frac{120}{(I - 1)} \text{ s} \dots \dots \dots (2.14)$$

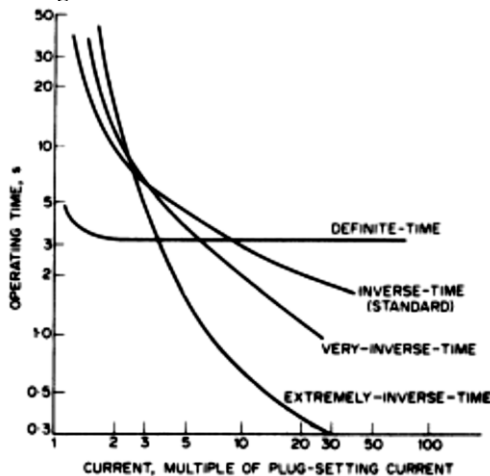
dimana :
t = tap rele

$$I = \frac{I_f}{I_{set}} \dots \dots \dots (2.15)$$

I_f = I gangguan

I_{set} = arus *setting* actual

D = time *setting* time dial



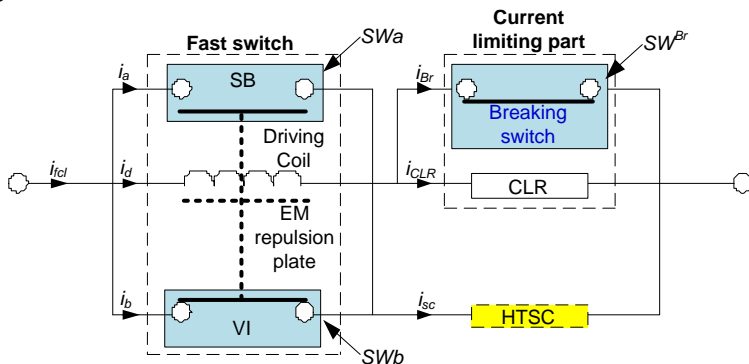
Gambar 2.8 Karakteristik Operasi Rele Arus Lebih Inverse

2.3 Hybrid Superconductor Fault Current Limiter (SFCL) [3]

Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) telah diketahui dapat memberikan solusi yang menjanjikan dalam membatasi arus gangguan pada sistem tenaga. Berbagai macam tipe SFCL telah dibuat dan menghasilkan pembatasan arus yang diinginkan pada mencapai rating tegangan menengah. *Hybrid* SFCL merupakan suatu peralatan yang mampu membatasi arus gangguan yang muncul pada jaringan tenaga listrik. Diadaptasi dari *Resistive* SFCL, pembatas arus tipe ini memiliki keunggulan yaitu kecilnya rugi daya yang diakibatkan oleh superkonduktor.

Pada *hybrid* SFCL, kemajuan luar biasa terletak pada bagian dimana *superconductor* tidak berfungsi sebagai pembatas arus hubung singkat namun hanya berfungsi sebagai *sensing* arus hubung singkat dan pengalih arus gangguan menuju *current limiting reactor* (CLR). *Fast switch* dapat beroperasi karena adanya gaya *electromagnetic repulsion* yang dibangkitkan oleh arus gangguan itu sendiri, bukan dari arus eksternal lainnya[6].

Hybrid SFCL secara garis besar terdiri dari 3 bagian utama yaitu *Fast switch*, bagian pembatas arus (*current limiting part*) dan *high temperature superconductor* (HTS) seperti yang ditampilkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rangkaian *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL)[4]

Struktur kompleks *hybrid* SFCL menggunakan *fast switch* (FS), yang terdiri dari dua saklar mekanis yaitu *vacuum interrupter* (VI) dan

short bar (SB). Untuk menghindari kegagalan pemakaian dari FS akibat timbulnya busur api ketika pemadaman, maka perlu memasang peralatan tambahan *superconductor* yaitu *driving coil* dan *electromagnetic* (EM) *repulsion plate*. Pada *hybrid* SFCL, FS dimodelkan menjadi saklar dua arah (SWa dan SWb). SWa atau SB bekerja menutup berdasarkan perintah dari rangkaian pengontrol ketika arus dari HTSC dialihkan menuju *driving coil* ketika terjadi arus gangguan. Begitu pula SWb atau VI bekerja membuka berdasarkan perintah dari rangkaian pengontrol ketika arus dari HTSC dialihkan menuju *driving coil* ketika terjadi arus gangguan. Bagian pembatas arus terdiri dari saklar pemutus SWBr dan *current limiter reactor* (CLR). Untuk mencapai arus yang cukup pada *driving coil* setelah HTSC mengalami peningkatan resistansi, SWBr tetap dalam kondisi menutup hingga arus mencapai *setting* dan menuju *driving coil*. Setelah SWa menutup dan SWb membuka maka SWBr diperintahkan untuk membuka.

Besarnya resistansi *superconductor* dalam hal ini HTSC terhadap waktu ditunjukkan pada persamaan (2.16). Dimana $E(t,T)$ merupakan medan listrik yang berubah terhadap waktu dan temperatur. $J(t)$ merupakan kerapatan arus yang berubah terhadap waktu. Sedangkan I_{sc} dan a_{sc} merupakan panjang dan luas *superconductor* yang digunakan. Besarnya nilai medan listrik yang berubah terhadap waktu dan temperatur ditunjukkan pada persamaan (2.17).

$$R_{sc} = \frac{E(t,T) I_{sc}}{J(t) a_{sc}} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$E(t,T) = \rho \left(\frac{T}{T_c} \right) J(t), \quad T(t) \geq T_c \dots\dots\dots (2.17)$$

Besarnya perubahan temperatur terhadap waktu dapat ditunjukkan pada persamaan (2.18).

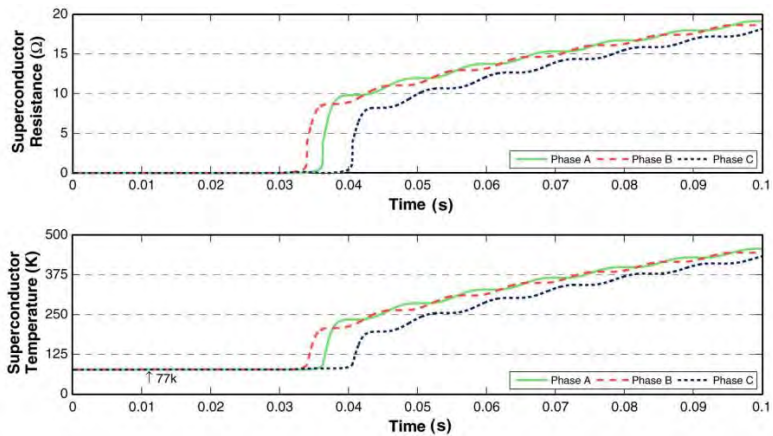
$$T(t) = T_a + \frac{1}{C_{sc}} \int_0^t [Q_{sc}(t) - Q_{removed}(t)] dt \dots\dots (2.18)$$

Besarnya nilai resistansi bersifat linier terhadap temperatur ketika $T(t) \geq T_c$ seperti yang terlihat pada persamaan (2.17). Parameter yang diperlukan untuk memodelkan peningkatan resistansi terhadap temperature dapat diperoleh dari tabel 2.2.

Tabel 2.2 Parameter Pemodelan Peningkatan Resistasi Terhadap Temperatur [5]

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Panjang <i>Superconductor</i>	l_{sc}	50	M
Diameter <i>Superconductor</i>	d_{sc}	$4 \cdot 10^{-3}$	m
Luas Penampang <i>Superconductor</i>	a_{sc}	$\pi \left(\frac{d_{sc}}{2} \right)^2$	m ²
Temperatur Awal <i>Superconductor</i> pada keadaan normal	T_a	77	K
Temperatur Kritis <i>Superconductor</i>	T_c	95	K
Kerapatan Arus	$J(t)$	$\frac{i_{sc}(t)}{a_{sc}}$	A/m ²
Tahanan Jenis	P	$1 \cdot 10^{-6}$	Ωm
Koefisien <i>Transfer Panas</i> pada Tempat Pendinginan	K	$1 \cdot 10^3$	W/Km ²
<i>Spesifik Volumetric Panas Superconductor</i>	c_v	$1 \cdot 10^6$	J/Km ³
Kapasitas Panas <i>Superconductor</i>	c_{sc}	$l_{sc} a_{sc} c_v$	J/K
Resistansi <i>Thermal Superconductor</i> pada Pendingan	θ_{sc}	$\frac{1}{k l_{sc} \pi d_{sc}}$	K/W
Disipasi Panas <i>Superconductor</i>	$Q_{sc}(t)$	$\int i_{sc}(t)^2 R_{sc}(t) dt$	J
Panas yang Dihilangkan Oleh Sistem Pendingin	$Q_{removed}(t)$	$\int \frac{T(t) - T_a}{\theta_{sc}}$	J
Resistansi <i>Superconductor</i>	$R_{sc}(t)$	$\frac{E(t, T) l_{sc}}{J(t) a_{sc}}$	Ω

Dengan memasukkan nilai sesuai parameter diatas maka akan didapatkan nilai peningkatan resistansi dan peningkatan temperatur yang terlihat pada gambar 2.10.

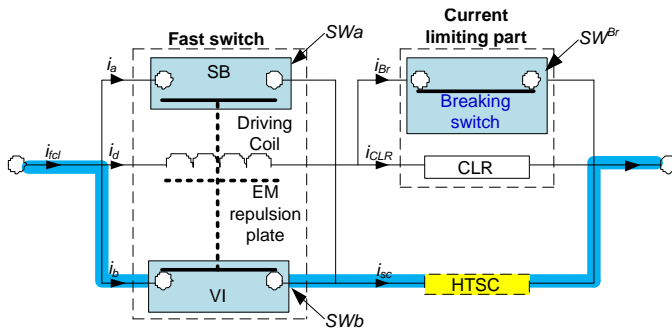


Gambar 2.10 Peningkatan resistansi dan temperatur *superconductor*[5]

Pada gambar 2.10 terlihat bahwa dalam keadaan normal atau sebelum adanya hubung singkat nilai resistansi superkonduktor bernilai 0 ohm dan nilai temperatur *superconductor* sebesar 77 Kelvin. Ketika terjadi hubung singkat pada 0.005 detik maka nilai resistansi akan naik drastis dan linear secara bersamaan dengan nilai temperatur pada *superconductor*.

2.3.1 Kondisi Operasi Normal

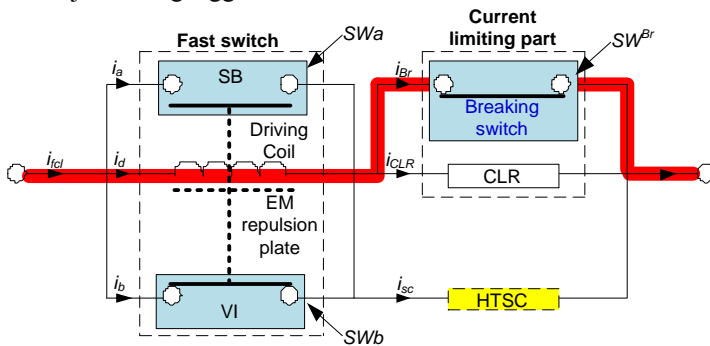
Pada saat kondisi normal arus mengalir melalui *vacuum interrupter* yang terhubung seri dengan HTSC. Pada kondisi normal, temperatur operasi *superconductor* dijaga pada keadaan 77 Kelvin. Pada kondisi ini HTSC memiliki impedansi sebesar 0 ohm seolah-olah menjadi suatu penghantar tanpa hambatan. Gambar 2.11 merupakan rangkaian *hybrid SFCL* pada kondisi operasi normal.



Gambar 2.11 Kondisi Operasi Normal

2.3.2 Kondisi Ketika Terjadi Gangguan

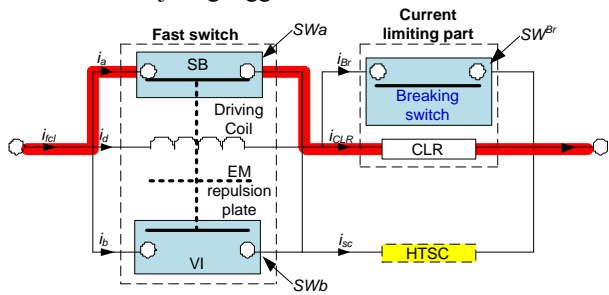
Ketika arus gangguan mengalir melalui HTSC dan menghasilkan panas mengakibatkan nilai resistansi HTSC meningkat mengakibatkan arus gangguan berganti arah menuju *drive coil* dan *breaking switch*. Gambar 2.12 merupakan rangkaian *hybrid SFCL* pada kondisi sensing ketika terjadi arus gangguan.



Gambar 2.12 Kondisi Sensing Ketika Terjadi Arus Gangguan

Ketika arus pada *drive coil* mencapai batas *setting* tertentu, maka kuat medan magnet yang dihasilkan *coil* akan mendorong SWa semula *normally open* menjadi *normally close* dan SWb yang semula *normally close* menjadi *normally open*. Sehingga arus gangguan akan mengalir melalui SWa dan CLR. Arus gangguan yang melalui CLR dibatasi

sebelum $\frac{1}{2}$ cycle pertama. Gambar 2.13 merupakan rangkaian *hybrid* SFCL pada kondisi terjadi gangguan setelah coil aktif.

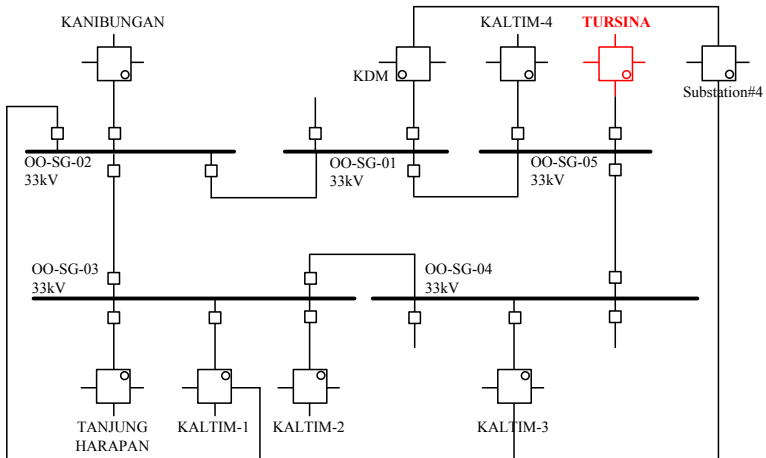


Gambar 2.13 Kondisi Terjadi Gangguan Setelah Coil Aktif

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN TURSINA

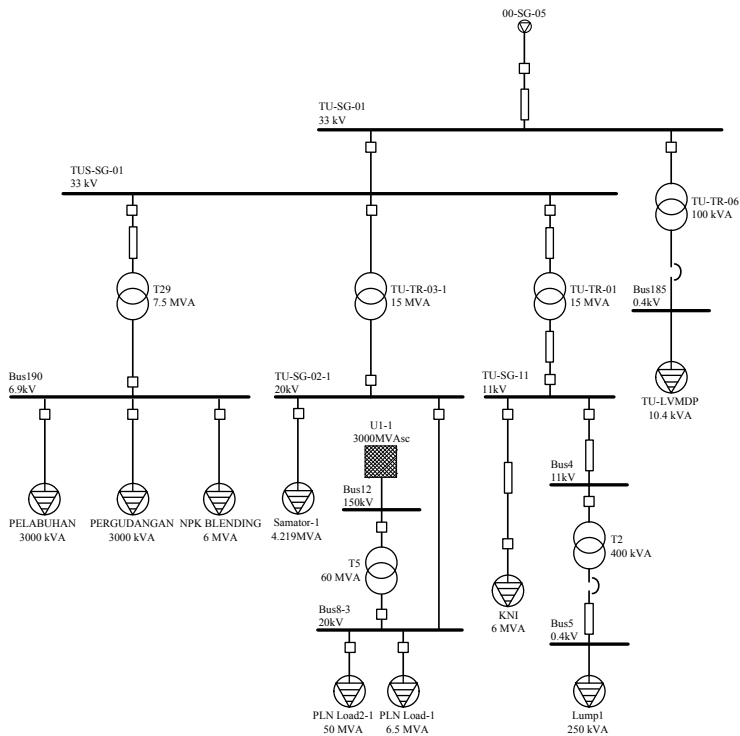
PT. Kaltim Daya Mandiri (KDM) merupakan salah satu perusahaan dalam grup PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk (PKT) yang mendukung proses produksi pupuk dan sarana listrik perumahan dan lingkungan PKT. PT. KDM sangat berperan penting dalam penyedia kebutuhan listrik bagi PKT dan perusahaan-perusahaan lain yang berada dalam kawasan Kaltim *Industrial Estate*. PKT mengintegrasikan pabrik-pabrik (*island*) serta fasilitas pendukung yang ada di seluruh wilayahnya menggunakan tegangan 33 kV dalam satu sistem *ring* termasuk kawasan Tursina yang ditampilkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Single Line Diagram ring PKT*

Tursina merupakan salah satu pelabuhan serta gudang milik PKT yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan pupuk, urea dan NPK untuk didistribusikan baik dalam negeri maupun luar negeri. Sistem kelistrikan kawasan Tursina memiliki sistem distribusi radial dengan lima rating tegangan ditunjukkan pada gambar 3.2. Sistem kelistrikan dengan menggunakan tipe radial memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari sistem ini adalah sederhana dan tidak membutuhkan dana yang cukup besar serta koordinasi pengaman untuk system ini lebih mudah. Sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah jika terjadi

gangguan pada salah satu bus maka suplai daya menuju beban akan terputus karena daya yang disalurkan melalui satu *line* saja.



Gambar 3.2 *Single Line Diagram* Tursina

3.1 Data Rating Tegangan di Tursina

Terdapat lima *rating* tegangan pada sistem kelistrikan kawasan Tursina yaitu sebagai berikut:

1. Tegangan 33 kV
Tegangan integrasi antar plant atau unit di PKT dan tegangan suplai dari *ring* PKT ke Tursina melalui bus 00-SG-05.

2. Tegangan 20 kV
Tegangan keluaran dari trafo TU-TR-03-1 yang meyulang bus TU-SG-02-1 serta tegangan keluaran dari trafo T5 yang menyulang Bus8-3.
3. Tegangan 11 kV
Tegangan keluaran trafo TU-TR-01 yang meyulang Bus181 serta tegangan pada bus TU-SG-11, BUS KNI dan Bus4.
4. Tegangan 6.9 kV
Tegangan keluaran dari trafo T29 yang meyulang Bus190.
5. Tegangan 0.4kV
Tegangan keluaran dari trafo TU-TR-06 yang meyulang Bus185, tegangan keluaran dari trafo T2 yang meyulang Bus6 dan tegangan pada Bus5.

3.2 Data Pembangkit di Tursina

Sistem pembangkitan pada PT.KDM saling terintegrasi yaitu membentuk sistem *ring*, Tabel 3.1 menunjukkan data pembangkit yang ada di PT.KDM.

Tabel 3.1 Data pembangkit PT. KDM

No	ID Generator	Lokasi	Kapasitas (MVA)	kV	Xd" (%)
1	STG-K-5	Kanibungan	37.500	11	19.1
2	GTG KDM	KDM	42.500	11	16.9
3	GenP	Kaltim-4	27.000	11	16.1
4	16-Z-001	Kaltim-3	37.500	11	12
5	GTG K2	Kaltim-2	45.500	11	25
6	PKT-STG-2	Tanjung Harapan	37.500	11	19.1

3.3 Data Transformator di Tursina

Dengan sistem jaringan distribusi menggunakan level tegangan dari sistem *ring* sebesar 33kV serta dari grid PLN sebesar 150kV, operasi pendistribusian daya di Tursina memerlukan transformator untuk menurunkan tegangan untuk melayani beban-beban pada *rating* tegangan tertentu. Data transformator meliputi *rating* tegangan dan kapasitas yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data transformator PT. KDM

No	ID Trafo	Kapasitas (kVA)	Tegangan Primer (kV)	Tegangan Sekunder (kV)	%	X/R
1	TU-TR-06	100	33	0.4	7.25	5.79
2	TU-TR-01	15000	33	11	10.00	18.60
3	T2	400	11	0.4	4.00	1.50
4	TU-TR-03-1	15000	33	20	8.35	14.23
5	T5	60000	150	20	12.50	45.00
7	T29	7500	33	6.9	7.00	14.23

3.4 Data Beban di Tursina

Pada sistem kelistrikan Tursina terdapat beberapa *lump load* yang harus dilayani dengan total sebesar 64MW. Beban-beban ini bekerja pada level tegangan 0.4 kV, 6,9 kV, 11 kV dan 20 kV. Tabel 3.3 memperlihatkan data kapasitas *lump load*.

Tabel 3.3 Data *lump load* di Tursina

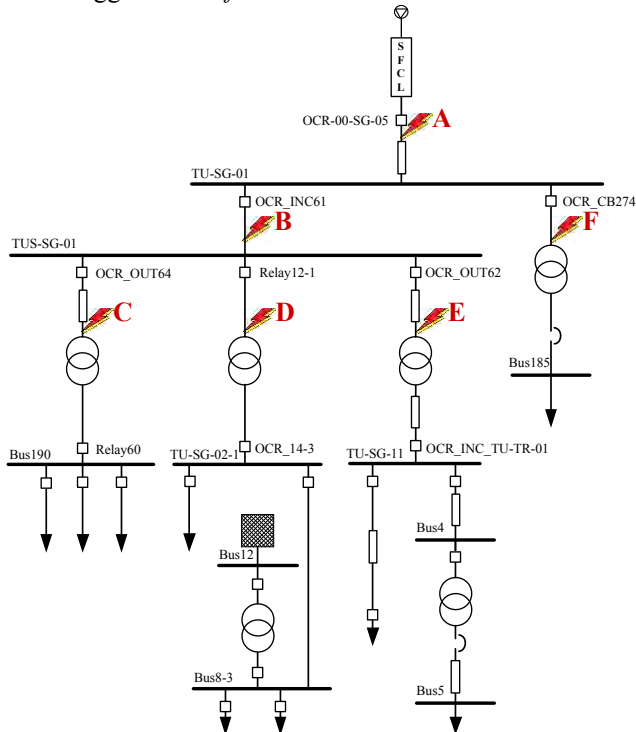
NO	ID	Ratio		Daya (MW)	PF (%)
		Motor (%)	Statis (%)		
1	Lump1	80	20	0.213	85
2	KNI	89	11	5.1	85
3	PLN Load-1	50	50	5.2	80
4	PLN Load2-1	50	50	40	80
5	Samator-1	90	10	3.375	80
6	NPK BLENDING	80	20	5.1	85
7	PERGUDANGAN	89	11	2.55	85
8	PELABUHAN	89	11	2.55	85
9	TU-LVMDP	80	20	0.00884	85
TOTAL				64.09684	

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Analisa *Tripping Sequence*

Pada Tugas Akhir ini tujuan penggunaan dari *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) sebagai pembatas arus gangguan pada sistem pengamanan peralatan di kawasan Tursina. Untuk mengetahui akibat dari penggunaan SFCL pada koordinasi proteksi kawasan Tursina maka dilakukan analisa *tripping sequence* yang terdiri dari enam *case* (A-F) pada beberapa feeder seperti pada Gambar 4.1. untuk membandingkan *Tripping sequence* plan saat *existing* tanpa penambahan SFCL dan dengan penambahan SFCL. Pengamatan *tripping sequence* menggunakan *software* simulasi ETAP 12.6.



Gambar 4.1 *Case* pengamatan *Tripping Sequence*

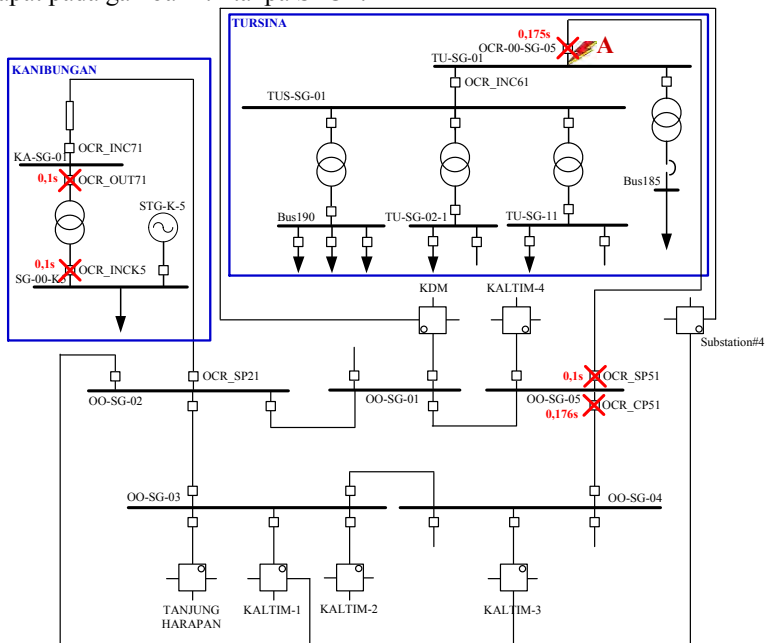
4.1.1 Tripping Sequence tanpa SFCL

Penempatan gangguan pada Gambar 4.1 dilakukan berdasarkan arus *short circuit* tiga fasa $1/2$ cycle terbesar. Hal ini dilakukan untuk mengetahui *tripping time* serta kerja rele pada urutan yang benar atau tidak. Pertama dilakukan simulasi pada plan *existing* tanpa penambahan SFCL. Rangkuman waktu kerja rele pada plan *existing* tanpa penambahan SFCL dapat dilihat pada Tabel 4.1.

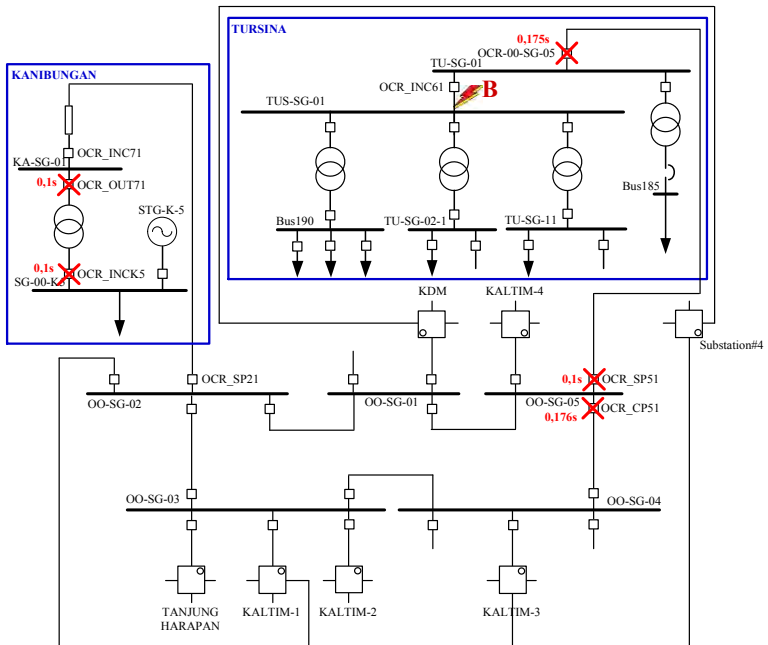
Tabel 4.1 *Tripping Time* rele *existing* tanpa SFCL

<i>Fault Case</i>	<i>Tripping Time (ms)</i>	<i>Relay ID</i>	<i>If (kA)</i>	Keterangan
A	100	OCR_INCK5	8.26	Rele ke-1&2 berada di Kanibungan seharusnya tidak <i>trip</i>
	100	OCR_OUT71	2.75	
	100	OCR_SP51	18.05	
	175	OCR-00-SG-05	18.05	
B	100	OCR_INCK5	7.62	Rele ke-1&2 berada di Kanibungan seharusnya tidak <i>trip</i> , rele ke-3&4 mendahului rele primer
	100	OCR_OUT71	2.54	
	100	OCR_SP51	16.66	
	175	OCR-00-SG-05	16.66	
C	100	OCR_INCK5	6.15	Rele ke-1&3 berada di Kanibungan seharusnya tidak <i>trip</i>
	100	OCR_OUT64	15.74	
	100	OCR_OUT71	2.05	
	100	OCR_SP51	13.45	
D	100	OCR_INCK5	7.62	Rele ke-1&2 berada di Kanibungan seharusnya tidak <i>trip</i> , rele ke-3 seharusnya sebagai <i>backup</i>
	100	OCR_OUT71	2.54	
	100	OCR_SP51	16.66	
	100	Relay12-1	18.02	
E	100	OCR_INCK5	7.59	Rele ke-1&2 berada di Kanibungan seharusnya tidak <i>trip</i> , rele ke-3&4 mendahului rele primer
	100	OCR_OUT71	2.53	
	100	OCR_SP51	16.59	
	175	OCR-00-SG-05	16.59	
F	100	OCR_CB274	20.28	Rele ke-2&3 berada di Kanibungan seharusnya tidak <i>trip</i> , rele ke-4 seharusnya sebagai <i>backup</i>
	100	OCR_INCK5	7.62	
	100	OCR_OUT71	2.54	
	100	OCR_SP51	16.66	

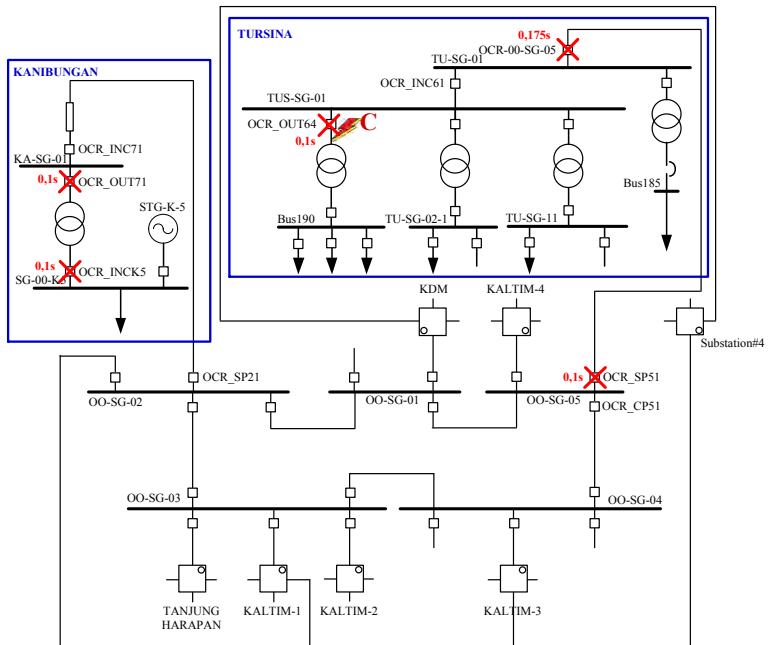
Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa plan existing tanpa SFCL memiliki tripping time yang tidak tepat. Rele pada kawasan Kanibungan bekerja ketika gangguan diberikan pada seluruh case, hal ini tidak diperbolehkan karena rele berada diluar tursina. Rele OCR_SP51 yang berada pada incoming feeder Tursina dan termasuk dalam koordinasi ring PKT seharusnya bekerja sebagai backup relay ketika terjadi gangguan didalam wilayah Tursina, tetapi dalam semua case rele ini bekerja bersamaan ataupun mendahului rele primer. Rele OCR_SP51 merupakan bagian dari sistem koordinasi pengaman ring PKT yang settingnya harus fix atau tidak boleh diubah. Untuk itu perlu dilakukan upaya agar ketika terjadi gangguan didalam kawasan Tursina rele yang bekerja hanya yang terdapat pada kawasan tersebut dan Rele OCR_SP51 tetap bekerja pada setting existingnya dengan baik. Gambar 4.2 menampilkan lokasi rele yg bekerja ketika diberi gangguan dengan letak sesuai case-case yang terdapat pada gambar 4.1 tanpa SFCL.



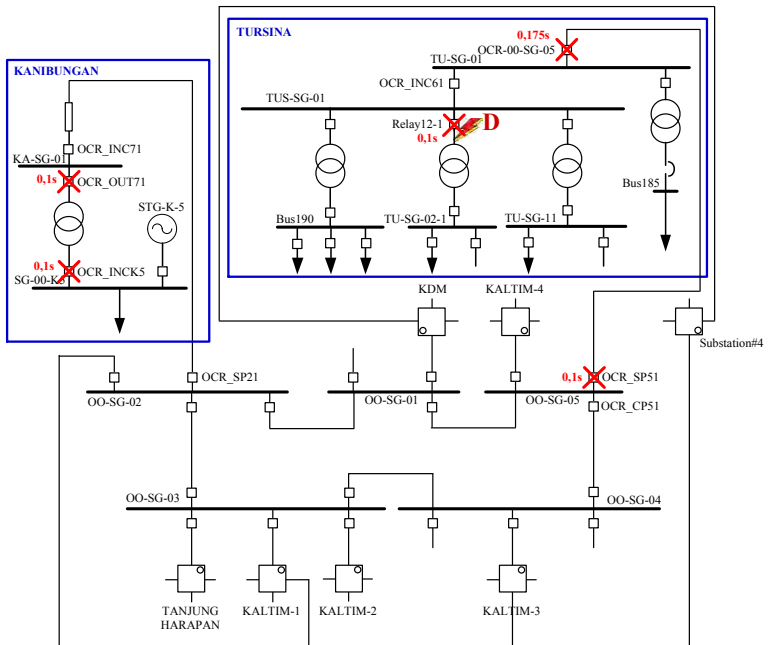
(a)



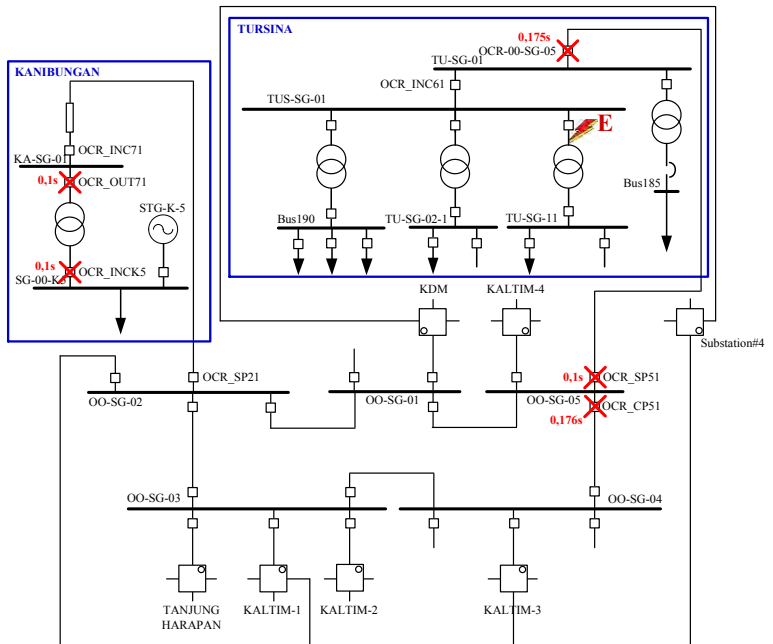
(b)



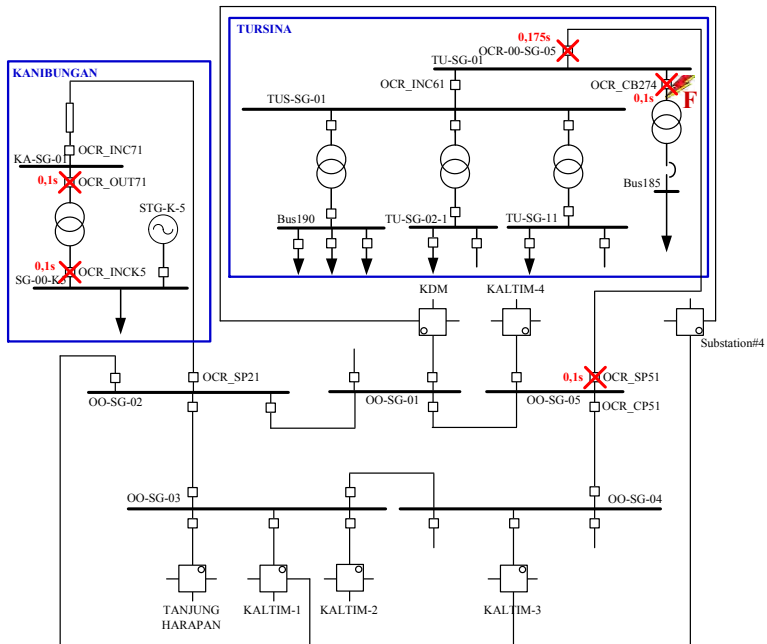
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4.2 Tripping Sequence tanpa SFCL pada (a) case A (b) case B (c) case C (d) case D (e) case E (f) case F

4.1.2 Tripping Sequence dengan SFCL

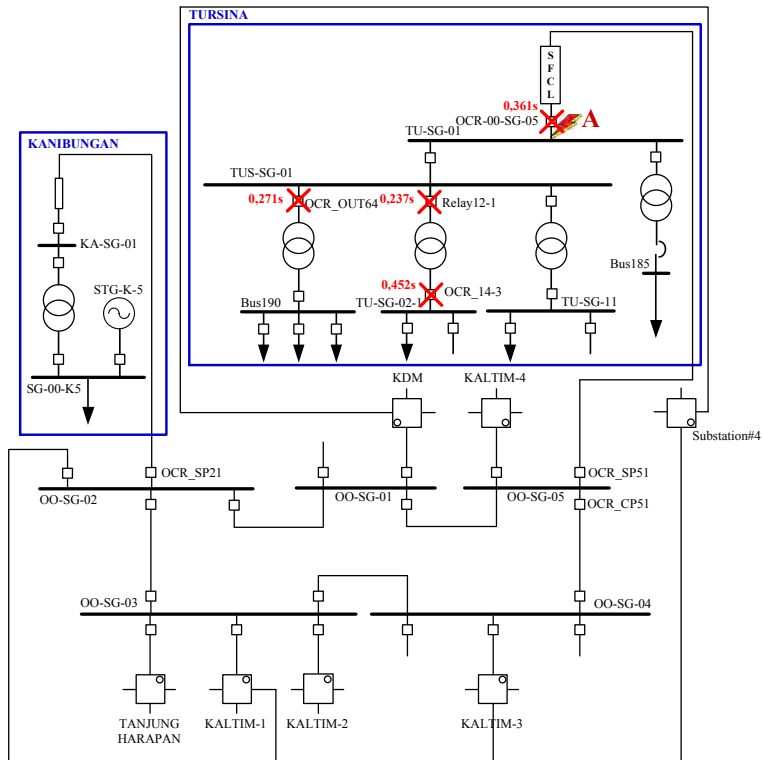
Simulasi *tripping sequence* yang kedua dilakukan dengan penambahan SFCL pada sisi *incoming feeder* Tursina. Hal ini dilakukan karena arus gangguan terbesar berada pada sisi input radial serta mendekati rele OCR_SP51 yang harus bekerja pada setting *existing*. Rangkuman waktu kerja rele pada plan *existing* dengan penambahan SFCL dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Tripping Time* rele existing dengan SFCL

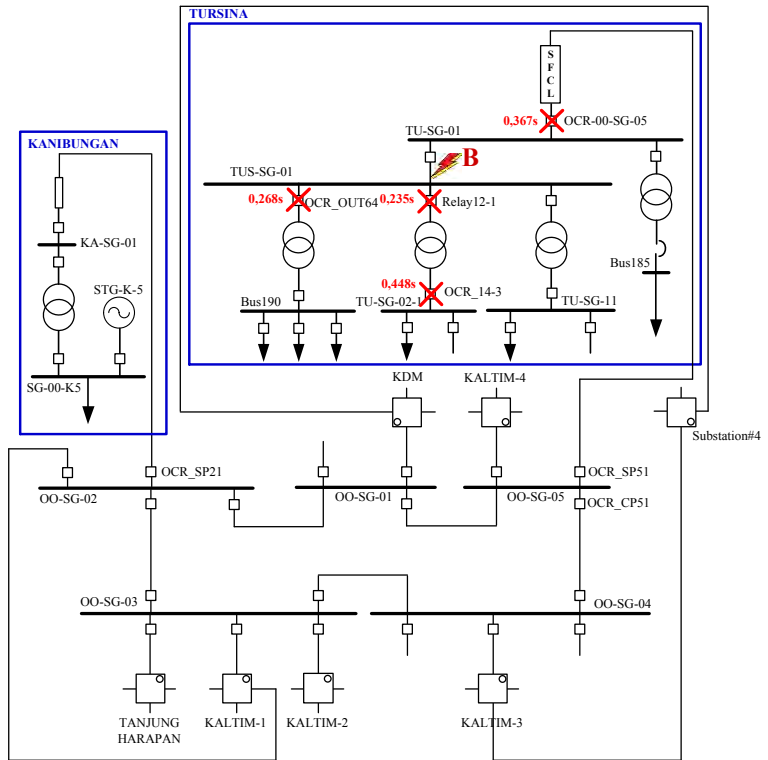
Fault Case	Tripping Time (ms)	Relay ID	If (kA)	Keterangan
A	237	Relay12-1	2.23	Tidak ada rele diluar tursina yang trip.
	271	OCR_OUT64	0.77	
	361	OCR-00-SG-05	3.52	
	452	OCR_14-3	3.50	
B	235	Relay12-1	2.27	Tidak ada rele diluar tursina yang trip.
	268	OCR_OUT64	0.78	
	367	OCR-00-SG-05	3.47	
	448	OCR_14-3	3.56	
C	100	OCR_OUT64	5.90	Tidak ada rele diluar tursina yang trip.
	244	Relay12-1	2.13	
	395	OCR-00-SG-05	3.25	
	463	OCR_14-3	3.33	
D	100	Relay12-1	4.82	Tidak ada rele diluar tursina yang trip.
	268	OCR_OUT64	0.78	
	367	OCR-00-SG-05	3.47	
	448	OCR_14-3	3.56	
E	235	Relay12-1	2.27	Tidak ada rele diluar tursina yang trip.
	269	OCR_OUT64	0.78	
	367	OCR-00-SG-05	3.46	
	448	OCR_14-3	3.55	
F	100	OCR_CB274	7.08	Tidak ada rele diluar tursina yang trip.
	235	Relay12-1	2.27	
	268	OCR_OUT64	0.78	
	367	OCR-00-SG-05	3.47	

Dari Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa setelah penambahan SFCL, tidak ada rele diluar kawasan Tursina yang bekerja. Hal ini menandakan bahwa pemasangan SFCL pada sisi input radial dapat mengatasi permasalahan koordinasi pada seluruh *case*. SFCL mampu mereduksi arus gangguan sehingga rele OCR_SP51 serta rele diluar kawasan tursina tidak mendeteksi gangguan yang ada didalam kawasan tursina. Ketika terjadi gangguan didalam kawasan tursina, rele OCR_SP51 bekerja

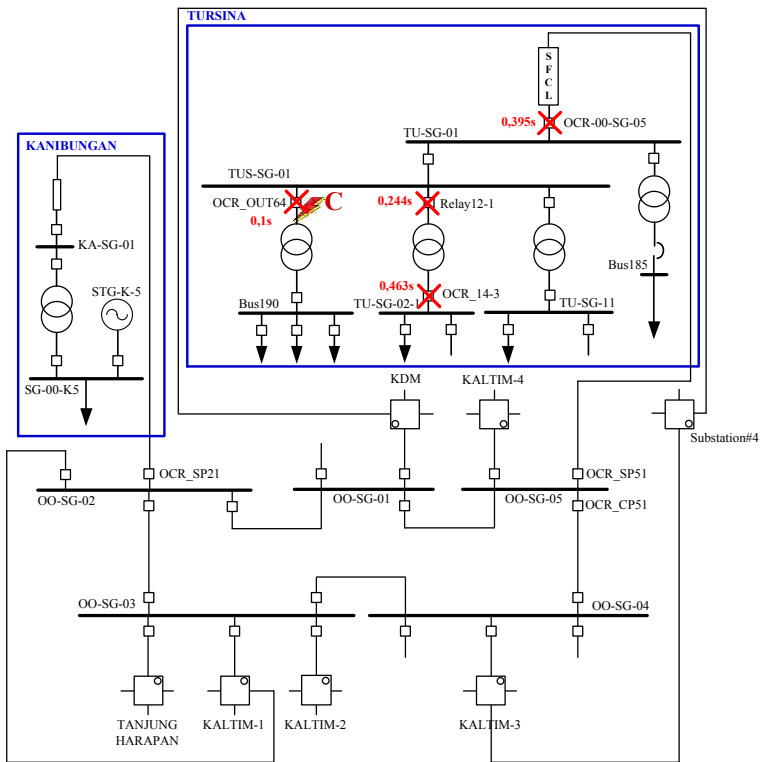
sebagai *backup* dan tidak lagi sebagai rele primer. Gambar 4.3 menampilkan lokasi rele yg bekerja ketika diberi gangguan dengan letak sesuai *case-case* yang terdapat pada gambar 4.1 sesudah dilakukan pemasangan SFCL.



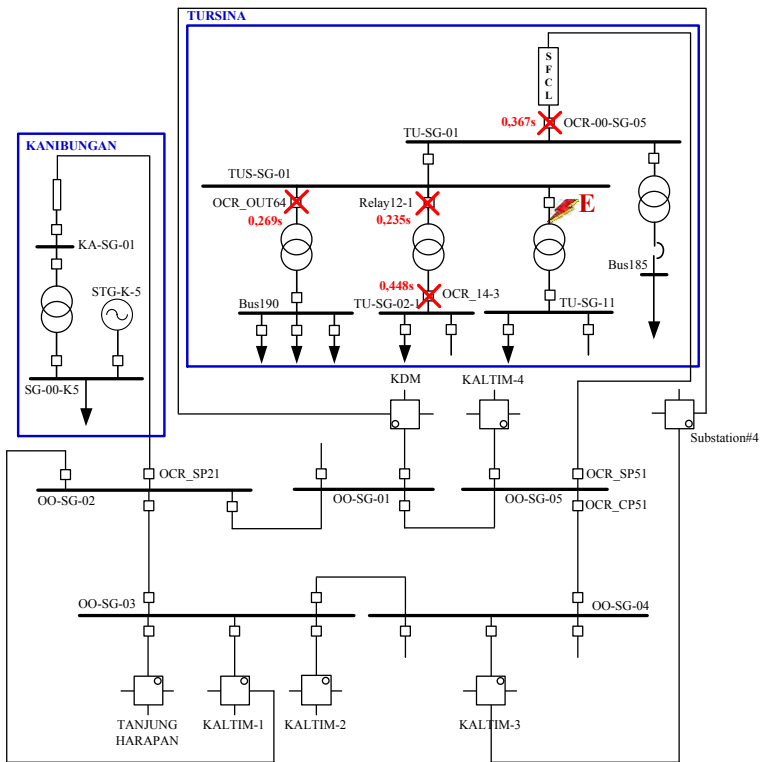
(a)



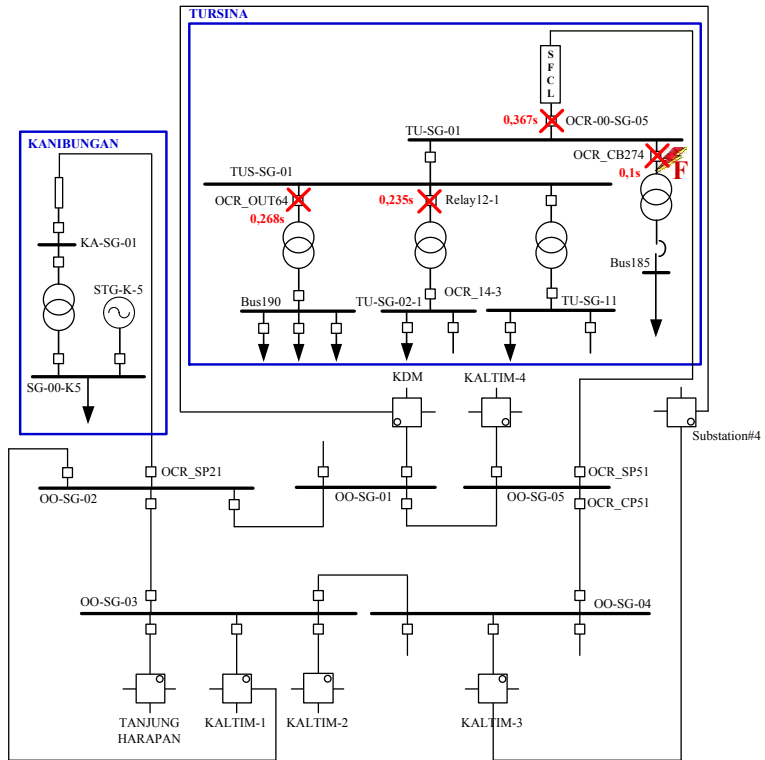
(b)



(c)



(e)



(f)

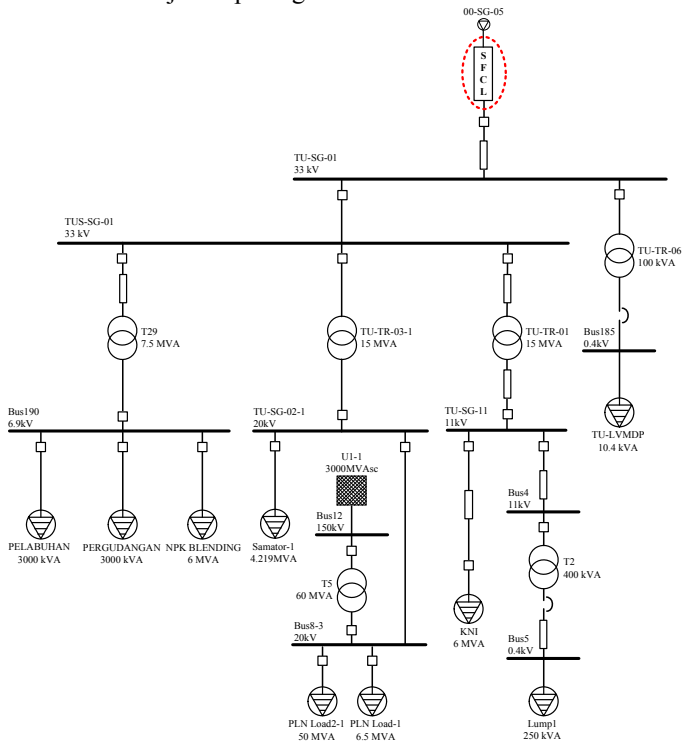
Gambar 4.3 *Tripping Sequence* dengan SFCL pada (a) case A (b) case B (c) case C (d) case D (e) case E (f) case F

4.2 Pemasangan *Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL)

SFCL merupakan merupakan peralatan listrik yang dapat digunakan untuk membatasi arus hubung singkat. Salah satu kelebihan penggunaan SFCL adalah mempunyai nilai impedansi sangat kecil atau dapat diabaikan pada kondisi normal. Setelah melakukan simulasi *tripping sequence* pada beberapa *feeder* seperti pada gambar 4.1 dapat diketahui bahwa pemasangan SFCL dapat mengatasi kesalahan koordinasi pada saat terjadi gangguan di Tursina.

4.2.1 Pemilihan Letak SFCL

Berdasarkan hasil simulasi *tripping sequence* dapat ditentukan letak pemasangan SFCL yakni dihubungkan secara seri dengan *incoming feeder* Tursina untuk membatasi arus gangguan agar tidak melebihi *setting lowset* dari rele OCR_SP51. Hal ini dilakukan karena Iset rele OCR_SP51 mendeteksi gangguan yang ada didalam tursina sebagai gangguan *short circuit* (rele 50) sehingga ketika ada gangguan seperti pada *case* di table 4.1 rele OCR_SP51 bekerja pada kurva instannya yaitu 0,1s mendahului rele primernya. *Single line diagram* pemasangan SFCL dikawasan Tursina ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Single Line Diagram* Pemasangan SFCL

4.2.2 Perhitungan nilai reaktansi Current Limiter Reactor (CLR)

Konstruksi dari *Hybrid* SFCL adalah bagian CLR terhubung secara paralel dengan *superconductor*. Nilai reaktansi pada CLR berfungsi untuk mereduksi arus hubung singkat yang mengalir. Dasar perhitungan nilai reaktansi CLR adalah nilai impedansi trafo isolasi (X) yang sebagian besar telah terpasang di *island* yang ada di kawasan PKT yaitu sebesar 10%. Daya total beban yang ada di Tursina adalah 22 MVA sehingga kapasitas trafo yang dapat dipasang adalah 25 MVA. Berikut adalah perhitungan nilai impedansi total trafo pada rating tegangan 33kV dengan daya 25 MVA.

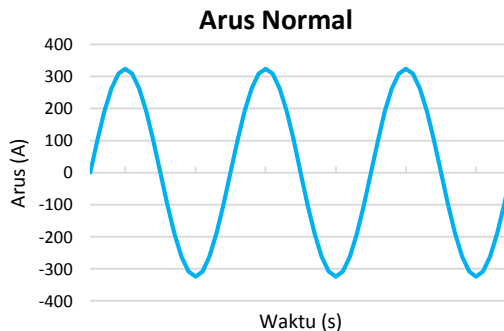
$$Z_{trafo} = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{33^2}{25} = 43,56 \, \Omega$$

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan besarnya nilai reaktansi dari CLR yaitu 10% dari nilai impedansi total trafo.

$$X_R = Z_{trafo} \cdot 10\% = 43,56 \times 10\% = 4,356 \, \Omega$$

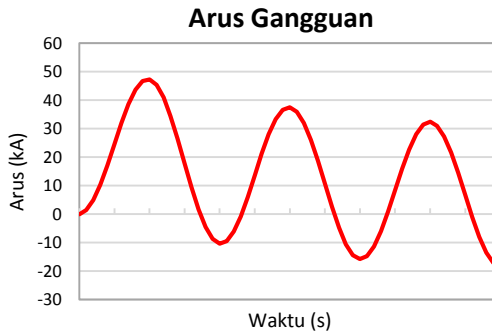
4.2.3 Cara kerja SFCL

Terdapat dua kondisi operasi kerja pada *Hybrid* SFCL yaitu kondisi saat normal dan kondisi saat terjadi gangguan. Saat kondisi normal arus mengalir melalui *High Temperature Superconductor* (HTS) yang terhubung seri dengan *Vacuum Interrupter* (VI). Nilai resistansi HTS saat arus normal adalah 0 ohm sehingga arus masukan dan arus keluaran yang melewati *Hybrid* SFCL besarnya sama. Bentuk gelombang arus pada *incoming feeder* Tursina saat keadaan normal diperlihatkan pada gambar 4.5.



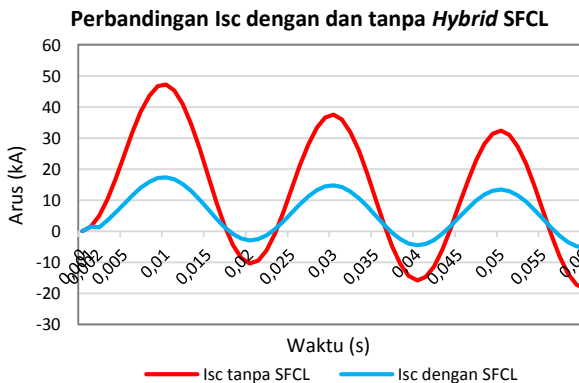
Gambar 4.5 Arus pada kondisi normal

Pada saat kondisi gangguan arus hubung singkat yang mengalir mengakibatkan peningkatan temperatur sehingga nilai resistansi HTS meningkat. Peningkatan resistansi HTS mengalihkan aliran arus hubung singkat menuju *current limiting reactor* (CLR) dengan bantuan *fast switch*. Bentuk gelombang arus hubung singkat 3 fasa pada *incoming feeder* Tursina saat terjadi gangguan sebelum dilakukan pemasangan diperlihatkan pada gambar 4.6.



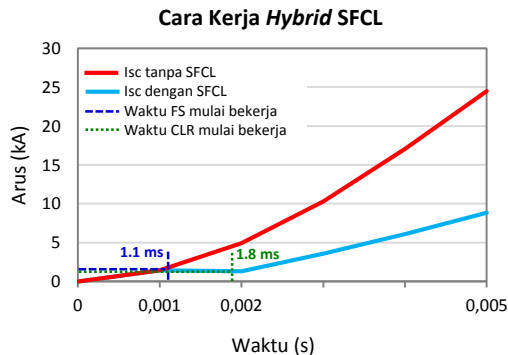
Gambar 4.6 Arus pada kondisi gangguan

Perbandingan antara gelombang arus saat hubung singkat tanpa menggunakan hybrid SFCL dengan gelombang arus saat hubung singkat setelah dipasang hybrid SFCL ditampilkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Perbandingan Arus gangguan tanpa dan dengan hybrid SFCL

Pada gambar 4.8 arus hubung singkat tanpa SFCL terlihat pada gelombang berwarna merah, sedangkan grafik hubung singkat setelah dipasang SFCL terlihat pada gelombang berwarna biru. HTS mendeteksi gangguan pada saat 1,1 ms setelah dimulainya arus hubung singkat ketika I_{sc} sebesar 1,45 kA. *Drive coil* mulai mendeteksi arus gangguan dan *fast switch* mulai bekerja pada 1,1 ms dan berakhir pada 1,8 ms setelah kegagalan terjadi. Kemudian arus yang mengalir ke HTS menjadi nol dan total arus gangguan mengalir ke jalur paralel menuju CLR untuk direduksi memanfaatkan reaktansinya. Arus hubung singkat tanpa SFCL saat 2ms sebesar 4,95 kA sedangkan setelah melewati CLR arus menjadi 1,3kA. Untuk memodelkan bentuk gelombang arus hubung singkat 3 fasa 1/4 *cycle* pertama pada bus TU-SG-01 digunakan metode transien IEC 61361. Grafik proses kerja SFCL pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Proses Kerja SFCL

Untuk menurunkan arus hubung singkat agar koordinasi proteksi bekerja dengan baik maka pemasangan SFCL merupakan cara yang tepat sehingga arus puncak hubung singkat dapat direduksi dan mencapai nilai dibawah *setting low set* rele OCR_SP51 yaitu sebesar 1,12kA.

4.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

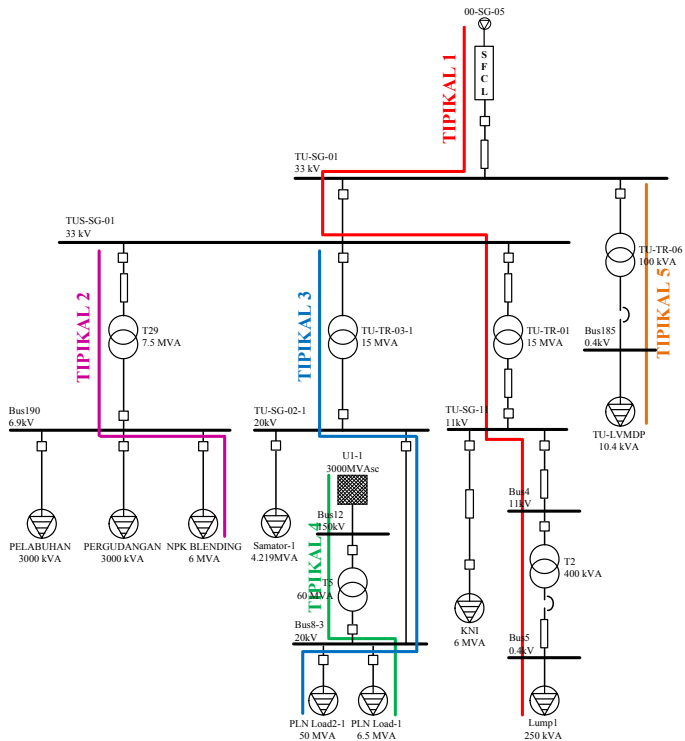
Pada koordinasi rele arus lebih gangguan fasa in dilakukan setting arus dan waktu pada masing-masing rele. Hal ini dilakukan agar waktu operasi rele yang satu dengan rele yang lain bekerja sesuai yang diharapkan. Pada Tugas Akhir ini koordinasi rele arus lebih dimaksudkan untuk menganalisa setting rele sebelum dan setelah adanya penambahan SFCL di Kawasan Tursina.

4.3.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi Pada Kawasan Tursina

Dalam melakukan setting koordinasi proteksi pada Kawasan Tursina, dipilih beberapa tipikal yang dapat mewakili sistem kelistrikan Kawasan Tursina. Pemilihan tipikal ini nantinya akan mewakili dan menjadi acuan setting proteksi yang lainnya. Tipikal-tipikal tersebut antara lain:

1. Tipikal 1 adalah koordinasi proteksi dari Ring KDM hingga beban Lump1 dengan beberapa level tegangan yaitu 33kV, 11kV dan 0.4kV. Pada Tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yaitu OCR-00-SG-05, OCR_OUT62, OCR_INC_TU-TR-01, OCR_OUT2TU dan OCR_T2.1.
2. Tipikal 2 adalah koordinasi proteksi dari trafo T29 hingga beban NPK BLENDING dengan level tegangan 33kV dan 6.9kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yaitu OCR_OUT64, Relay60 dan OCR_NPK_BLD.
3. Tipikal 3 adalah koordinasi proteksi dari trafo TU-TR-03-1 hingga beban lump PLN LOAD2-1 dengan level tegangan 33kV dan 20kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yaitu Relay12-1, OCR_14-3, OCR Out 1 PLN-1 dan OCR_PLN_Load2-1.
4. Tipikal 4 adalah koordinasi proteksi dari PLN 150kV hingga beban lump PLN Load-1 dengan level tegangan 150kV dan 20kV. Pada tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yaitu OCR-T5.1, OCR-T5.1 dan OCR_PLN_Load-1.
5. Tipikal 5 adalah koordinasi proteksi dari trafo TU-TR-06 hingga beban lump TU-LVMDP pada level tegangan 33kV dan 0.4kV. Tipikal ini terdapat rele pengaman OCR_CB274.

Bentuk detail tipikal koordinasi 1 s/d 5 dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Single line diagram tipikal 1 sampai 5

4.3.2 Analisa Hubung Singkat

Analisa hubung singkat dilakukan untuk mengetahui besarnya arus hubung singkat di setiap bus. Terdapat 2 macam analisa hubung singkat yang digunakan yaitu analisa hubung singkat maksimum dan analisa hubung singkat minimum. Nantinya kedua analisa hubung singkat ini digunakan untuk menentukan setting rele arus lebih.

4.3.2.1 Hubung Singkat Minimum

Pada system kelistrikan Kawasan Tursina, pebangkitan minimum yaitu ketika PKT-STG-2 36 MW dan GTG K2 36.4 MW dalam keadaan tidak aktif. Arus hubung singkat minimum adalah arus hubung singkat *line to line* ketika kondisi 30 cycle. Hubung singkat minimum digunakan

untuk menentukan setting pickup kurva waktu instan. Sehingga apabila terjadi gangguan hubung singkat pada gangguan minimum, maka rele tersebut dapat bekerja dengan instan sesuai dengan setting time delay yang ditentukan. Data hasil simulasi gangguan hubung singkat pembangkitan minimum ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Arus Hubung Singkat Minimum 30 cycle

ID Bus	SC Min 30 Cycle (kA)	
	Pembebanan Min tanpa SFCL	Pembebanan Min dengan SFCL
TU-SG-01	7.50	3.90
TUS-SG-01	7.50	3.90
Bus189	6.89	3.74
Bus190	6.29	5.41
TU-SG-02-1	9.44	8.43
Bus8-3	12.97	12.21
Bus12	10.28	10.21
Bus182	7.49	3.90
Bus181	5.23	4.31
TU-SG-11	5.22	4.30
BUS KNI	5.00	4.15
Bus4	4.04	3.47
Bus6	11.28	11.12
Bus5	6.27	6.22
Bus 185	1.72	1.72

4.3.2.2 Hubung Singkat Maksimum

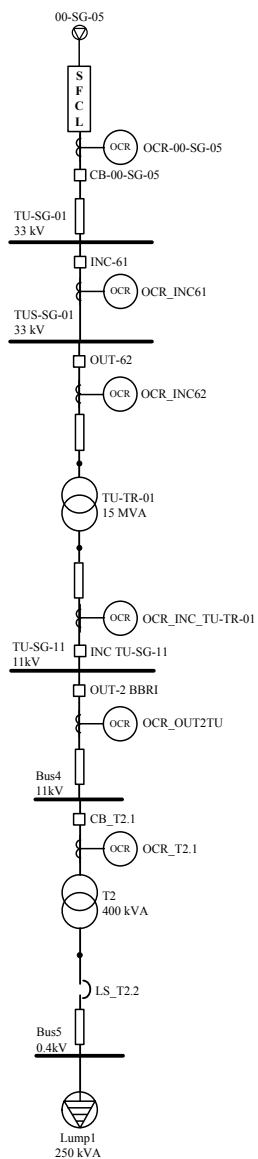
Pembangkitan maksimum Kawasan Tursina yaitu ketika seluruh pembangkit dalam keadaan aktif. Arus hubung singkat maksimum digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Data hasil simulasi gangguan hubung singkat pembangkitan maksimum ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Arus Hubung Singkat Maksimum 4 cycle

ID Bus	SC Max 4 Cycle (kA)	
	Pembebanan Max tanpa SFCL	Pembebanan Max dengan SFCL
TU-SG-01	17.62	6.26
TUS-SG-01	17.62	6.26
Bus189	14.95	5.95
Bus190	11.60	10.32
TU-SG-02-1	13.29	11.96
Bus8-3	19.32	18.43
Bus12	12.18	12.13
Bus182	17.56	6.25
Bus181	8.04	6.66
TU-SG-11	8.03	6.65
BUS KNI	7.71	6.45
Bus4	5.73	5.01
Bus6	3.55	3.41
Bus5	7.60	7.56
Bus185	2.01	2.00

4.3.3 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih tipikal 1 merupakan jalur tipikal dari Ring KDM hingga beban Lump1. Pada Tipikal ini terdapat beberapa rele pengaman yaitu OCR-00-SG-05, OCR_OUT62, OCR_INC_TU-TR-01, OCR_OUT2TU dan OCR_T2.1. Gambar rangkaian tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.10.



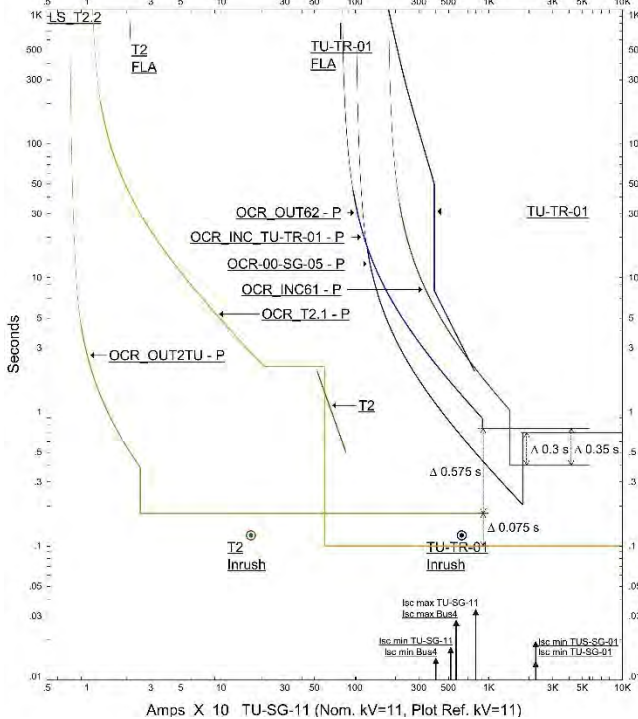
Gambar 4.10 Rangkaian Tipikal 1

Data awal *setting* rele arus lebih tipikal 1 sebelum dipasang SFCL ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Setting Rele Awal Pada Tipikal 1

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
LS_T2.2	250	<i>LT Pickup</i>	400
		<i>LT Band</i>	Curve A
		<i>ST Pickup</i>	9000
		<i>ST Band</i>	Curve B
OCR_T2.1	25/5	<i>Pickup Lowset</i>	10,6A
		<i>Time dial</i>	4,62
		<i>Pickup Higset</i>	3232A
		<i>Time delay</i>	0,1s
OCR_OUT2TU	25/5	<i>Pickup Lowset</i>	7,5A
		<i>Time dial</i>	0,1
		<i>Pickup Higset</i>	25A
		<i>Time delay</i>	0,18s
OCR_INC_TU-TR-01	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	812,5A
		<i>Time dial</i>	1,0
		<i>Pickup Higset</i>	9000A
		<i>Time delay</i>	0,75s
OCR_OUT62	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	270A
		<i>Time dial</i>	1,0
		<i>Pickup Higset</i>	3000A
		<i>Time delay</i>	0,75s
OCR_INC61	800/5	<i>Pickup Lowset</i>	600A
		<i>Time dial</i>	0,8
		<i>Pickup Higset</i>	4800A
		<i>Time delay</i>	0,4s
OCR-00-SG-05	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	340,4A
		<i>Time dial</i>	0,37
		<i>Picup Higset</i>	6000A
		<i>Time delay</i>	0,7s

Hasil plot *time current curve* (TCC) tipikal 1 *setting* awal sebelum dipasang SFCL ditunjukkan oleh gambar 4.11.



Gambar 4.11 Kurva *Setting* Rele Awal Pada Tipikal 1

Pada kondisi awal tipikal 1 terdapat beberapa yang perlu diperhitungkan diantaranya:

1. Pada rele OCR_T2.1 nilai *setting pickup highset* sangat besar sehingga terbentur pada *damage curve* trafo T2 yang seharusnya dilindungi.
2. Pada rele OCR_OUT2TU memiliki Δt 0,075s dari rele OCR_T2.1 atau dibawah batas standar IEEE Std. 242-1986 tentang delay seberapa 0,2-0,4s.
3. Nilai *time dial* kurva invers rele OCR-00-SG-05 lebih kecil dari time delay kurva instan sehingga rele 50 bekerja terlebih dahulu dari rele 51.

4. Nilai *setting pickup highset* rele OCR_INC_TU-TR-01 dan rele OCR_INC61 melebihi 0,8 kali nilai $I_{sc \text{ min}}$.
5. Perlu adanya perhitungan ulang koordinasi rele arus lebih gangguan fasa setelah adanya penambahan SFCL karena terjadi perubahan nilai $I_{sc \text{ max}}$ dan $I_{sc \text{ min}}$. Pada bus TU-SG-01 dan TUS-SG-01 arus hubung singkat maksimum 4 cycle ketika kondisi awal sebesar 17,62 kA sedangkan setelah adanya pemasangan SFCL nilai arus hubung singkat maksimum 4 cycle berubah menjadi 6,26 kA. Untuk arus hubung singkat minimum 30 cycle pada kondisi awal sebesar 7,5 kA sedangkan setelah adanya pemasangan SFCL nilai arus hubung singkat minimum 30 cycle sebesar 3,9 kA.

Dari hasil analisa diatas berikut ini merupakan perhitungan ulang *setting* rele pada tipikal 1.

a) LVCB LS T2.2

Manufaktur	: ABB
Model	: E1B
Sensor ID	: 250
FLA beban Lump1	: 274,9A
$I_{sc \text{ min}}$ Bus6	: 12210A
$I_{sc \text{ max}}$ Bus6	: 304A

Long Time Pickup

$$1,05 \text{ FLA beban Lump} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA beban Lump}$$

$$1,05 \times 274,9 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 274,9$$

$$288,65 < I_{\text{set}} < 384,86$$

$$\frac{288,65}{\text{Sensor ID}} I_n < \text{tap} < \frac{384,86}{\text{Sensor ID}} I_n$$

$$\frac{288,65}{250} I_n < \text{tap} < \frac{384,86}{250} I_n$$

$$1,155 I_n < \text{tap} < 1,539 I_n$$

$$\text{Dipilih tap } 1,28 I_n$$

$$I_{\text{set}} = 320 \text{ A}$$

Long Time Band

Dipilih *Long Time bend Curve A*

Short Time Pickup

1,6 FLA beban Lump < I_{set} < 0,8 isc min Bus6

1,6 × 274,9 < I_{set} < 0,8 × 12210

300,16 < I_{set} < 8896

$\frac{439,84}{\text{Sensor ID}} I_n < \text{tap} < \frac{8896}{\text{Sensor ID}} I_n$

$\frac{439,84}{250} I_n < \text{tap} < \frac{8896}{250} I_n$

1,76 I_n < tap < 35,6 I_n

Dipilih tap 32 I_n

I_{set} = 8000 A

Short Time Band

Dipilih *Short Time bend* curve B

b) Rele OCR T2.1

Manufaktur : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Tipe Kurva : Very Inverse

Rasio CT : 25:5

FLA beban Lump1 : 10,1A

Isc min Bus4 : 3470A

Isc max Bus4 : 5010A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

1,05 FLA beban Lump1 < I_{set} < 1,4 FLA beban Lump1

1,05 × 10,1 < I_{set} < 1,4 × 10,1

10,605 < I_{set} < 14,140

$\frac{10,605}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{137,34}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{10,605}{25} I_n < \text{tap} < \frac{137,34}{25} I_n$

0,424 I_n < tap < 0,566 I_n

Dipilih tap 0,55 I_n (*Range* 0,3 - 2,4 I_n)

I_{set} = 13,75 A

Time dial

Waktu operasi: 0,1 detik

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right) - 1} \right] \times TD$$

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I_{sc \max Bus4}}{I_{set}} \right) - 1} \right] \times TD$$

$$0,1 = \left[\frac{9}{\left(\frac{5010}{13,75} \right) - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 4,037$$

Dipilih TD 4,1 (*Range* 0,1 - 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

1,6 FLA beban Lump1 < Iset < 0,8 isc min Bus4

1,6 × 10.1 < Iset < 0,8 × 3470

16,16 < Iset < 2776

$$\frac{16,16}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{2776}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{16,16}{25} I_n < \text{tap} < \frac{2776}{25} I_n$$

$$0,65 I_n < \text{tap} < 111,04 I_n$$

Dipilih tap 12I_n (*Range* 1 - 24I_n)

$$I_{set} = 300 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,1 detik

c) **Rele OCR OUT2TU**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Very Inverse
Rasio CT	: 25:5
FLA Bus4	: 9,1 A

Isc min bus TU-SG-11 : 4300A
 Isc max bus TU-SG-11 : 6650A
 Isc max feeder OUT-2 BBRI : 11A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1,05 \text{ FLA Bus4} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA Bus4}$$

$$1,05 \times 9,1 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 9,1$$

$$9,555 < I_{\text{set}} < 12,740$$

$$\frac{9,555}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{12,740}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{9,555}{25} I_n < \text{tap} < \frac{12,740}{25} I_n$$

$$0,382 I_n < \text{tap} < 0,510 I_n$$

Dipilih tap $0,4 I_n$ (Range 0,3 – 2,4 I_n)

$$I_{\text{set}} = 10 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,3 detik

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder OUT-2 BBRI}}{I_{\text{set}}} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,3 = \left[\frac{9}{\left(\frac{11}{10} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$\text{TD} = 0,003$$

Dipilih TD 3,5 (Range 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1,6 \text{ FLA Bus4} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ isc min bus TU-SG-11}$$

$$1,6 \times 9,1 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 4300$$

$$14,56 < I_{\text{set}} < 3440$$

$$\frac{14,56}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{3440}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{14,56}{25} I_n < \text{tap} < \frac{3440}{25} I_n$$

$$0,58 I_n < \text{tap} < 137,60 I_n$$

Dipilih tap $8I_n$ (*Range* 1 – $24I_n$)

$$I_{\text{set}} = 200 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

d) Rele OCR INC TU-TR-01

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Very Inverse
Rasio CT	: 1250:5
FLA Trafo TU-TR-01	: 787,3A
Isc min bus TU-SG-11	: 4300A
Isc max bus TU-SG-11	: 6650A
Isc max feeder TU-SG-11	: 5440A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1,05 \text{ FLA Trafo} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA Trafo}$$

$$1,05 \times 787,3 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 787,3$$

$$826,665 < I_{\text{set}} < 1102,220$$

$$\frac{826,665}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{1102,220}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{826,665}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{1102,220}{1250} I_n$$

$$0,661 I_n < \text{tap} < 0,882 I_n$$

Dipilih tap $0,67I_n$ (*Range* 0,3 – $2,4I_n$)

$$I_{\text{set}} = 837,5 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,5 detik

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right) - 1} \right] \times TD$$

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I_{sc \text{ max feeder TU-SG-11}}}{I_{set}} \right) - 1} \right] \times TD$$

$$0,5 = \left[\frac{9}{\left(\frac{5440}{837,5} \right) - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0,305$$

Dipilih TD 0,52 (*Range* 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

1,6 FLA Trafo < Iset < 0,8 isc min bus TU-SG-11

1,6 × 787,3 < Iset < 0,8 × 4300

1259,68 < Iset < 3440

$\frac{1259,68}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{3440}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{1259,68}{1250} I_n < \text{tap} < \frac{3440}{1250} I_n$

1,01 I_n < tap < 2,75 I_n

Dipilih tap 2,7I_n (*Range* 1 – 24I_n)

I_{set} = 3375 A

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,5 detik

e) Rele OCR OUT62

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Very Inverse
Rasio CT	: 400:5
FLA Trafo TU-TR-01	: 262,4A
Isc min bus TUS-SG-01	: 3900A
Isc max bus TUS-SG-01	: 6260A

Isc max feeder TUS-SG-01 : 349A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1,05 \text{ FLA Trafo} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA Trafo}$$

$$1,05 \times 262,4 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 262,4$$

$$275,52 < I_{\text{set}} < 367,36$$

$$\frac{275,52}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{367,36}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{275,52}{400} I_n < \text{tap} < \frac{367,36}{400} I_n$$

$$0,689 I_n < \text{tap} < 0,918 I_n$$

Dipilih tap $0,7 I_n$ (Range $0,3 - 2,4 I_n$)

$$I_{\text{set}} = 280 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,1 detik

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder TUS-SG-01}}{I_{\text{set}}} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,1 = \left[\frac{9}{\left(\frac{349}{280} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$\text{TD} = 0,003$$

Dipilih TD 0,8 (Range $0,1 - 12,5$)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1,6 \text{ FLA Trafo} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ isc min bus TUS-SG-01}$$

$$1,6 \times 262,4 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 3900$$

$$419,84 < I_{\text{set}} < 3120$$

$$\frac{419,84}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{419,84}{400} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{400} I_n$$

$$1,05 I_n < \text{tap} < 7,80 I_n$$

Dipilih tap $6,3 I_n$ (Range 1 – $24 I_n$)

$$I_{\text{set}} = 2520 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,1 detik

f) Rele OCR INC61

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Very Inverse
Rasio CT	: 800:5
FLA bus TUS-SG-01	: 324A
Isc min bus TU-SG-01	: 3900A
Isc max bus TU-SG-01	: 6260A
Isc max feeder TU-SG-01	: 2890A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1,05 \text{ FLA bus TUS – SG – 01} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA TUS – SG – 01}$$

$$1,05 \times 324 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 324$$

$$340,2 < I_{\text{set}} < 453,6$$

$$\frac{340,2}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{453,6}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{340,2}{800} I_n < \text{tap} < \frac{453,6}{800} I_n$$

$$0,425 I_n < \text{tap} < 0,567 I_n$$

Dipilih tap $0,45 I_n$ (Range 0,3 – $2,4 I_n$)

$$I_{\text{set}} = 360 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,3 detik

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I_{sc \text{ max feeder TU-SG-01}}{I_{set}} \right) - 1} \right] \times TD$$

$$0,3 = \left[\frac{9}{\left(\frac{2890}{360} \right) - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0,234$$

Dipilih TD 0,65 (*Range* 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

1,6 FLA bus TUS – SG – 01 < Iset < 0,8 isc min bus TU-SG-01

1,6 × 324 < Iset < 0,8 × 3900

518,4 < Iset < 3120

$\frac{518,4}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{518,4}{800} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{800} I_n$

0,65 I_n < tap < 3,90 I_n

Dipilih tap 3,3 I_n (*Range* 1 – 24I_n)

I_{set} = 2640 A

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

g) Rele OCR-00-SG-05

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Very Inverse
Rasio CT	: 800:5
FLA bus TU-SG-01	: 324,2A
Isc min bus TU-SG-01	: 3900A
Isc max bus TU-SG-01	: 6260A
Isc max feeder TU-SG-01	: 3370A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

1,05 FLA bus TU – SG – 01 < I_{set} < 1,4 FLA bus TU – SG – 01

$$1,05 \times 324,2 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 324,2$$

$$340,41 < I_{\text{set}} < 453,88$$

$$\frac{340,41}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{453,88}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{340,41}{800} I_n < \text{tap} < \frac{453,88}{800} I_n$$

$$0,426 I_n < \text{tap} < 0,567 I_n$$

Dipilih tap $0,55 I_n$ (Range $0,3 - 2,4 I_n$)

$$I_{\text{set}} = 440 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,5 detik

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{9}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder TU-SG-01}}{I_{\text{set}}} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,5 = \left[\frac{9}{\left(\frac{3370}{440} \right) - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$\text{TD} = 0,37$$

Dipilih TD 0,55 (Range $0,1 - 12,5$)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$1,6 \text{ FLA bus TUS - SG - 01} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ isc min bus TU-SG-01}$

$$1,6 \times 324,2 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 3900$$

$$518,72 < I_{\text{set}} < 3120$$

$$\frac{518,72}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{518,72}{800} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{800} I_n$$

$$0,65 I_n < \text{tap} < 3,90 I_n$$

Dipilih tap $3,5 I_n$ (Range $1 - 24 I_n$)

$$I_{\text{set}} = 2800 \text{ A}$$

Time delay

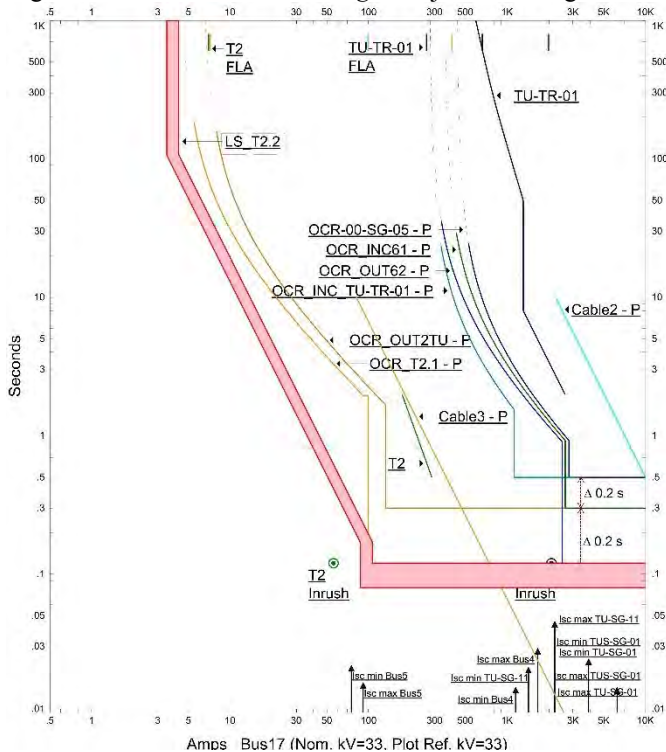
Dipilih *Time delay* 0,5 detik

Data koordinasi rele arus lebih tipikal 1 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data *Resetting* Rele Pada Tipikal 1

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
LS_T2.2	800	<i>LT Pickup</i>	320
		<i>LT Band</i>	Curve A
		<i>ST Pickup</i>	8000
		<i>ST Band</i>	Curve B
OCR_T2.1	25/5	<i>Pickup Lowset</i>	13,75A
		<i>Time dial</i>	4,1
		<i>Pickup Higset</i>	300A
		<i>Time delay</i>	0,1s
OCR_OUT2TU	25/5	<i>Pickup Lowset</i>	10A
		<i>Time dial</i>	3,5
		<i>Pickup Higset</i>	200A
		<i>Time delay</i>	0,3s
OCR_INC_TU-TR-01	1250/5	<i>Pickup Lowset</i>	837,5A
		<i>Time dial</i>	0,52
		<i>Pickup Higset</i>	3375A
		<i>Time delay</i>	0,5s
OCR_OUT62	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	280A
		<i>Time dial</i>	0,8
		<i>Pickup Higset</i>	2520A
		<i>Time delay</i>	0,1s
OCR_INC61	800/5	<i>Pickup Lowset</i>	360A
		<i>Time dial</i>	0,65
		<i>Pickup Higset</i>	2640A
		<i>Time delay</i>	0,3s
OCR-00-SG-05	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	440A
		<i>Time dial</i>	0,55
		<i>Picup Higset</i>	2800A
		<i>Time delay</i>	0,5s

Hasil plot *time current curve* (TCC) rele pada tipikal 1 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan oleh gambar 4.12.



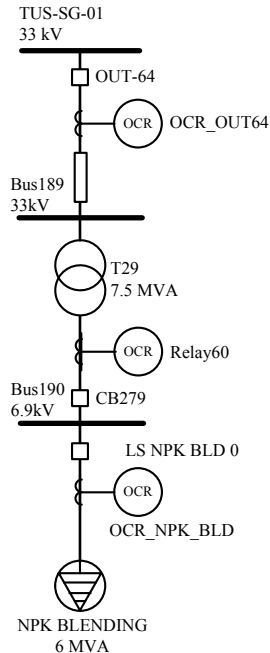
Gambar 4.12 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1

Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 1 terdapat beberapa perbaikan, diantaranya :

1. Pemasangan SFCL mengakibatkan arus hubung singkat menurun sehingga memperkecil *setting pickup highset* pada rele OCR_T2.1, OCR_INC_TU-TR-01, OCR_OUT62, OCR_INC61 dan OCR-00-SG-05.
2. Pada rele OCR_OUT62 dilakukan perubahan nilai *time delay* dari 0,75s menjadi 0,1s karena rele berada disisi primer trafo.
3. Memperkecil *time dial* rele OCR_INC_TU-TR-01 agar tidak bersinggungan dengan rele OCR_OUT62 sehingga saat terjadi gangguan tidak bekerja secara bersamaan.

4.3.4 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 2

Koordinasi rele arus lebih tipikal 2 merupakan jalur tipikal dari trafo T29 hingga beban NPK BLENDING. Tipikal 2 terdiri dari rele pengaman yaitu OCR_OUT64, Relay60 dan OCR_NPK_BLD. Gambar rangkaian tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.13.



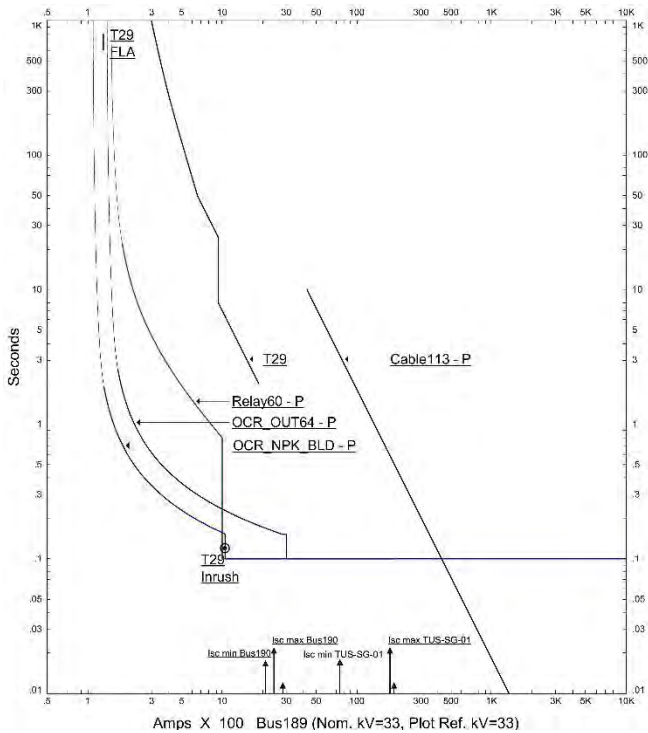
Gambar 4.13 Rangkaian Tipikal 2

Data awal *setting* rele arus lebih tipikal 2 sebelum dipasang SFCL ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Setting rele Awal Pada Tipikal 2

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
OCR_NPK_BLD	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	527,1A
		<i>Time dial</i>	0,15
		<i>Pickup Higset</i>	5032A
		<i>Time delay</i>	0,1s
Relay60	800/5	<i>Pickup Lowset</i>	720A
		<i>Time dial</i>	0,5
		<i>Pickup Higset</i>	4800A
		<i>Time delay</i>	0,1s
OCR_OUT64	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	140A
		<i>Time dial</i>	0,2
		<i>Pickup Higset</i>	3000A
		<i>Time delay</i>	0,1s

Hasil plot *time current curve* (TCC) tipikal 2 *setting* awal sebelum dipasang SFCL ditunjukkan oleh gambar 4.14.



Gambar 4.14 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 2

Pada kondisi awal tipikal 2 terdapat beberapa yang perlu diperhitungkan diantaranya:

1. Nilai *setting pickup highset* semua rele pada tipikal 2 lebih besar dari batas maksimumnya yaitu 0,8 kali dari arus gangguan minimum.
2. Nilai *time dial* rele OCR_OUT64 lebih kecil dari nilai *time dial* Relay60 sehingga ketika ada gangguan, rele OCR_OUT64 bekerja terlebih dahulu dari Relay60.
3. Seluruh rele tipikal 2 tidak memiliki Δt .
4. Perlu adanya perhitungan ulang koordinasi rele arus lebih gangguan fasa setelah adanya penambahan SFCL karena terjadi perubahan nilai Isc max dan Isc min.

Dari hasil analisa diatas berikut ini merupakan perhitungan ulang *setting* rele pada tipikal 2.

a) **Rele OCR NPK BLD**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 600:5
FLA beban lump NPK BLENDING	: 502A
Isc min Bus190	: 5410A
Isc max feeder beban lump	: 1730A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

1,05 FLA beban Lump < I_{set} < 1,4 FLA beban Lump

$1,05 \times 502 < I_{set} < 1,4 \times 502$

$527,1 < I_{set} < 702,8$

$\frac{527,1}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{702,8}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{527,1}{600} I_n < \text{tap} < \frac{702,8}{600} I_n$

$0,879 I_n < \text{tap} < 1,171 I_n$

Dipilih tap $0,9 I_n$ (Range 0,3 - $2,4 I_n$)

$I_{set} = 540 \text{ A}$

Time dial

Waktu operasi: 0,3 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{sc \text{ max feeder lump}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$0,3 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{1730}{540} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$TD = 0,15$

Dipilih TD 0,4 (*Range* 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

1,6 FLA beban Lump < I_{set} < 0,8 isc min Bus190

1,6 × 502 < I_{set} < 0,8 × 5410

803,2 < I_{set} < 4328

$$\frac{803,2}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{4328}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{803,2}{600} I_n < \text{tap} < \frac{4328}{600} I_n$$

$$1,34 I_n < \text{tap} < 7,21 I_n$$

Dipilih tap 6 I_n (*Range* 1 – 24I_n)

$$I_{\text{set}} = 3600 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

b) Relay60

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 100:5
FLA TrafoT29	: 627,6A
Isc min feeder Bus190	: 5410A
Isc max feeder Bus190	: 6660A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

1,05 FLA Trafo T29 < I_{set} < 1,4 FLA Trafo T29

1,05 × 627,6 < I_{set} < 1,4 × 627,6

658,98 < I_{set} < 878,64

$$\frac{658,98}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{878,64}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{658,98}{800} I_n < \text{tap} < \frac{878,64}{800} I_n$$

$$0,824 I_n < \text{tap} < 1,098 I_n$$

Dipilih tap 0,83 I_n (*Range* 0,3 – 2,4I_n)

$$I_{\text{set}} = 664 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,5 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{sc \text{ max feeder lump}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$0,5 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{6660}{664} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0,502$$

Dipilih TD 0,55 (*Range* 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

1,6 FLA Trafo T29 < Iset < 0,8 isc min Bus190

1,6 × 627,6 < Iset < 0,8 × 5410

1004,16 < Iset < 4328

$\frac{1004,16}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{4328}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{1004,16}{800} I_n < \text{tap} < \frac{4328}{800} I_n$

1,26 I_n < tap < 5,41 I_n

Dipilih tap 5,4 I_n (*Range* 1 – 24I_n)

I_{set} = 4320 A

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,5 detik

c) Rele OCR OUT64

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Standard Inverse

Rasio CT : 400:5
 FLA Trafo T29 : 131,2A
 Isc min bus TUS-SG-01 : 3900A
 Isc max feeder TUS-SG-01 : 540A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1,05 \text{ FLA Trafo T29} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA Trafo T29}$$

$$1,05 \times 131,2 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 131,2$$

$$137,76 < I_{\text{set}} < 183,68$$

$$\frac{137,76}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{183,68}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{137,76}{400} I_n < \text{tap} < \frac{183,68}{400} I_n$$

$$0,344 I_n < \text{tap} < 0,459 I_n$$

Dipilih tap $0,45 I_n$ (Range 0,3 – 2,4 I_n)

$$I_{\text{set}} = 180 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,1 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder TUS-SG-01}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,1 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{540}{180} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$\text{TD} = 0,047$$

Dipilih TD 1 (Range 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1,6 \text{ FLA Trafo T29} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ isc min bus TUS-SG-01}$$

$$1,6 \times 131,2 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 3900$$

$$209,92 < I_{\text{set}} < 3120$$

$$\frac{209,92}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{209,92}{400} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{400} I_n$$

$$0,52 I_n < \text{tap} < 7,80 I_n$$

Dipilih tap 6 I_n (*Range* 1 - 24 I_n)

$$I_{\text{set}} = 2400 \text{ A}$$

Time delay

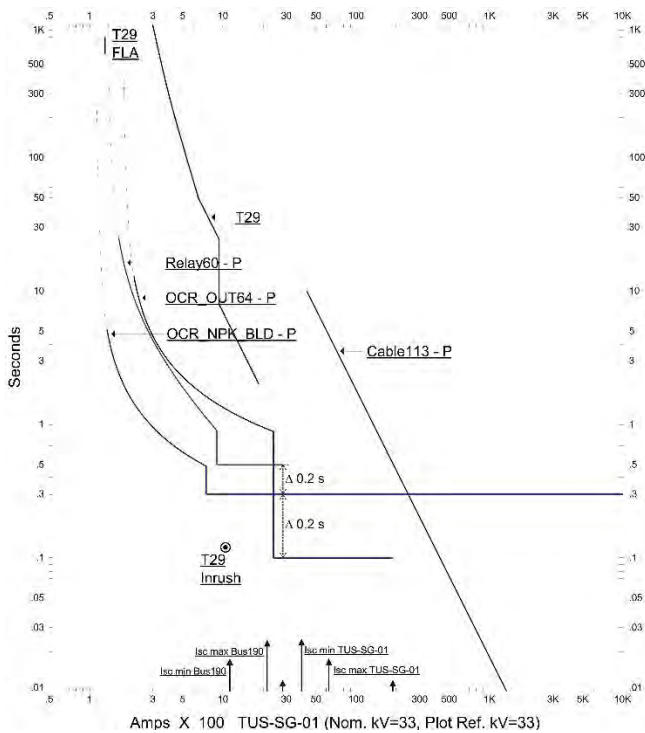
Dipilih *Time delay* 0,1 detik

Data koordinasi rele arus lebih tipikal 2 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data *Resetting* rele Pada Tipikal 2

Relay ID	CT ratio	Setting	
OCR_NPK_BLD	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	540A
		<i>Time dial</i>	0,4
		<i>Pickup Higset</i>	3600A
		<i>Time delay</i>	0,3s
Relay60	800/5	<i>Pickup Lowset</i>	664A
		<i>Time dial</i>	0,55
		<i>Pickup Higset</i>	4320A
		<i>Time delay</i>	0,5s
OCR_OUT64	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	180A
		<i>Time dial</i>	1
		<i>Pickup Higset</i>	2400A
		<i>Time delay</i>	0,1s

Hasil plot *time current curve* (TCC) rele pada tipikal 2 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan oleh gambar 4.15.



Gambar 4.15 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2

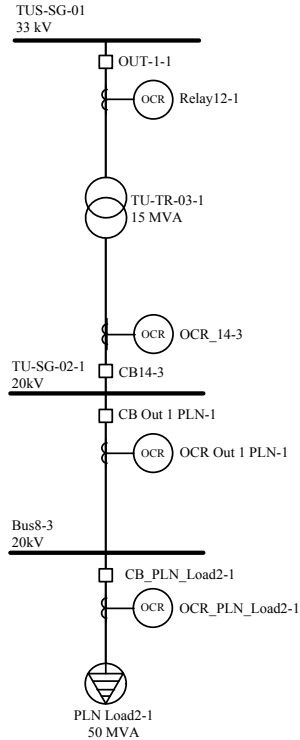
Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 2 terdapat beberapa perbaikan, diantaranya :

1. Pemasangan SFCL mengakibatkan arus hubung singkat menurun sehingga memperkecil nilai *setting pickup highset* pada rele OCR_NPK_BLD, Relay60 dan OCR_OUT64.
2. Pada rele OCR_OUT64 dilakukan penambahan nilai *time dial* sehingga rele *inverse* OCR_OUT64 menjadi backup Relay60.
3. Nilai *time delay* pada rele OCR_NPK_BLD diubah menjadi 0,3s dan Relay60 dilakukan *grading* menjadi 0,5s.

4.3.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 3

Koordinasi rele arus lebih tipikal 3 merupakan jalur tipikal dari trafo TU-TR-03-1 hingga beban lump PLN LOAD2-1. Tipikal 3 terdiri

dari Relay12-1, OCR_14-3, OCR Out 1 PLN-1 dan OCR_PLN_Load2-1. Gambar rangkaian tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.14.



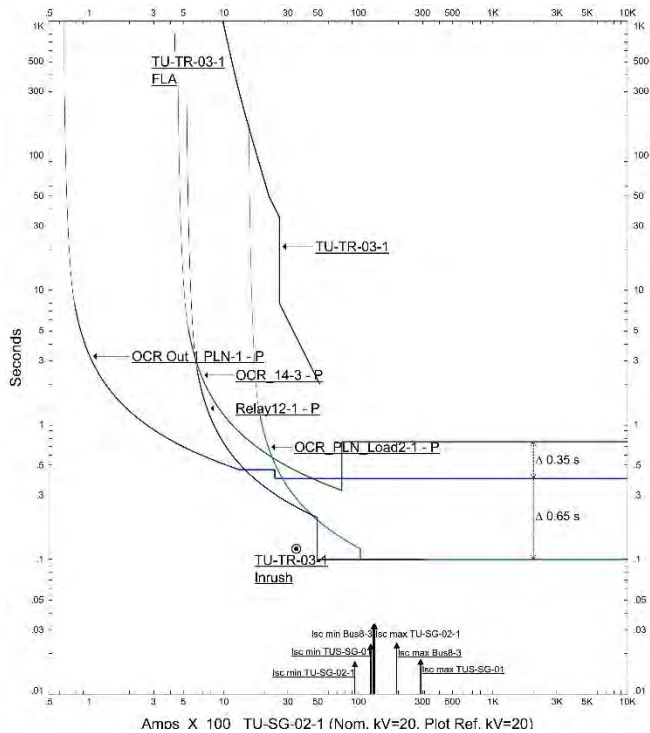
Gambar 4.16 Rangkaian Tipikal 3

Data awal *setting* rele arus lebih tipikal 3 sebelum dipasang SFCL ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data Setting rele Awal Pada Tipikal 3

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
OCR_PLN_Load2-1	1750/5	<i>Pickup Lowset</i>	1515,2A
		<i>Time dial</i>	0,1
		<i>Pickup Higset</i>	10376A
		<i>Time delay</i>	0,1s
OCR Out 1 PLN-1	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	65,4A
		<i>Time dial</i>	0,61
		<i>Pickup Higset</i>	5112A
		<i>Time delay</i>	0,4s
OCR_14-3	500/5	<i>Pickup Lowset</i>	454,7A
		<i>Time dial</i>	0,4
		<i>Pickup Higset</i>	7552A
		<i>Time delay</i>	0,75s
Relay12-1	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	320A
		<i>Time dial</i>	0,2
		<i>Pickup Higset</i>	3000A
		<i>Time delay</i>	0,1s

Hasil plot *time current curve* (TCC) tipikal 3 *setting* awal sebelum dipasang SFCL ditunjukkan oleh gambar 4.17.



Gambar 4.17 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 3

Pada kondisi awal tipikal 3 terdapat beberapa yang perlu diperhitungkan diantaranya:

1. Nilai *setting pickup highset* Relay12-1, OCR_14-3 dan OCR_PLN_Load2-1 melebihi batas maksimum yaitu 0,8 kali nilai arus *short circuit minimum*.
2. Nilai *time dial* pada *setting inverse* Relay12-1 lebih kecil dari rele OCR_14-3 sehingga Relay12-1 tidak bekerja sebagai backup.
3. Nilai *time dial* kurva invers rele OCR_14-3 lebih kecil dari *time delay* kurva instan sehingga rele 50 bekerja terlebih dahulu dari rele 51.

4. Perlu adanya perhitungan ulang koordinasi rele arus lebih gangguan fasa setelah adanya penambahan SFCL karena terjadi perubahan nilai Isc max dan Isc min.

Dari hasil analisa diatas berikut ini merupakan perhitungan ulang *setting* rele pada tipikal 3.

a) Rele OCR PLN Load2-1

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 1750:5
FLA beban lump PLN Load2-1	: 1443A
Isc min Bus8-3	: 12210A
Isc max feeder beban lump	: 3110A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$1,05 \text{ FLA beban Lump} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA beban Lump}$

$1,05 \times 1443 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 1443$

$1515,15 < I_{\text{set}} < 2020,20$

$\frac{1515,15}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{2020,20}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{1515,15}{1750} I_n < \text{tap} < \frac{2020,20}{1750} I_n$

$0,866 I_n < \text{tap} < 1,154 I_n$

Dipilih tap $0,9 I_n$ (*Range* 0,3 – 2,4 I_n)

$I_{\text{set}} = 1575 \text{ A}$

Time dial

Waktu operasi: 0,1 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder lump}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,1 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{3110}{1575} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0,029$$

Dipilih TD 0,1 (*Range* 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

1,6 FLA beban Lump < Iset < 0,8 isc min Bus8 – 3

$1,6 \times 1443 < I_{set} < 0,8 \times 12210$

$2308,8 < I_{set} < 9768$

$\frac{2308,8}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{9768}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{2308,8}{1750} I_n < \text{tap} < \frac{9768}{1750} I_n$

$1,32 I_n < \text{tap} < 5,58 I_n$

Dipilih tap 5 I_n (*Range* 1 – 24 I_n)

$I_{set} = 8750 \text{ A}$

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,1 detik

b) Rele OCR Out 1 PLN-1

Manufaktur : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Tipe Kurva : Standard Inverse

Rasio CT : 100:5

FLA : 62,3A

Isc min feeder bus TU-SG-02-1 : 6390A

Isc max feeder bus TU-SG-02-1 : 8550A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$1,05 \text{ FLA} < I_{set} < 1,4 \text{ FLA}$

$1,05 \times 62,3 < I_{set} < 1,4 \times 62,3$

$65,415 < I_{set} < 87,22$

$\frac{65,415}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{87,22}{\text{primer CT}} I_n$

$$\frac{65,415}{100} I_n < \text{tap} < \frac{87,22}{100} I_n$$

$$0,654 I_n < \text{tap} < 0,872 I_n$$

Dipilih tap $0,87 I_n$ (*Range* 0,3 – 2,4 I_n)

$$I_{\text{set}} = 87 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,3 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder lump}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,3 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{8550}{87} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$\text{TD} = 0,613$$

Dipilih TD 1,5 (*Range* 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1,6 \text{ FLA} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ isc min kontribusi}$$

$$1,6 \times 62,3 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 6390$$

$$99,68 < I_{\text{set}} < 5112$$

$$\frac{99,68}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{5112}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{99,68}{100} I_n < \text{tap} < \frac{5112}{100} I_n$$

$$1,00 I_n < \text{tap} < 51,12 I_n$$

Dipilih tap $18 I_n$ (*Range* 1 – 24 I_n)

$$I_{\text{set}} = 1800 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

c) **Rele OCR OUT64**

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 500:5
FLA trafo TU-TR-03-1	: 433
Isc min bus TU-SG-02-1	: 8430A
Isc max feeder TU-SG-02-1	: 2990A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1,05 \text{ FLA trafo} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA Trafo}$$

$$1,05 \times 433 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 433$$

$$454,65 < I_{\text{set}} < 606,2$$

$$\frac{454,65}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{606,2}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{454,65}{500} I_n < \text{tap} < \frac{606,2}{500} I_n$$

$$0,909 I_n < \text{tap} < 1,212 I_n$$

Dipilih tap $0,95 I_n$ (Range 0,3 - $2,4 I_n$)

$$I_{\text{set}} = 475 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,5 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder TU-SG-02-1}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,5 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{2990}{475} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$\text{TD} = 0,399$$

Dipilih TD 0,8 (Range 0,1 - 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$1,6 \text{ FLA Trafo} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ isc min feeder TU-SG-02-1}$

$1,6 \times 433 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 8430$

$692,8 < I_{\text{set}} < 6744$

$\frac{692,8}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{6744}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{692,8}{500} I_n < \text{tap} < \frac{6744}{500} I_n$

$1,39 I_n < \text{tap} < 13,49 I_n$

Dipilih tap $6 I_n$ (Range 1 – $24 I_n$)

$I_{\text{set}} = 3000 \text{ A}$

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,5 detik

d) Relay12-1

Manufaktur : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Tipe Kurva : Standard Inverse

Rasio CT : 400:5

FLA trafo TU-TR-03-1 : 262,4A

Isc min bus TUS-SG-01 : 3900A

Isc max feeder TUS-SG-01 : 2000A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$1,05 \text{ FLA trafo} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA Trafo}$

$1,05 \times 262,4 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 262,4$

$275,52 < I_{\text{set}} < 367,36$

$\frac{275,52}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{367,36}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{275,52}{400} I_n < \text{tap} < \frac{367,36}{400} I_n$

$0,689 I_n < \text{tap} < 0,918 I_n$

Dipilih tap $0,9 I_n$ (Range 0,3 – $2,4 I_n$)

$I_{\text{set}} = 360 \text{ A}$

Time dial

Waktu operasi: 0,1 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{sc \text{ max feeder TUS-SG-01}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$0,1 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{2000}{360} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0,074$$

Dipilih TD 0,8 (*Range* 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

1,6 FLA Trafo < Iset < 0,8 isc min feeder TUS-SG-01

1,6 × 262,4 < Iset < 0,8 × 3900

419,84 < Iset < 3120

$$\frac{419,84}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{419,84}{400} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{400} I_n$$

$$1,05 I_n < \text{tap} < 7,8 I_n$$

Dipilih tap 6 I_n (*Range* 1 – 24 I_n)

$$I_{set} = 2400 \text{ A}$$

Time delay

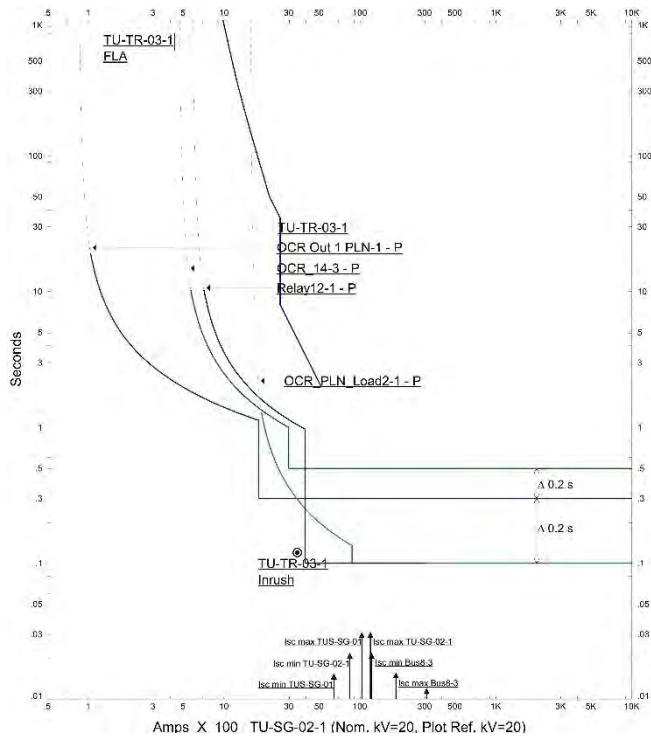
Dipilih *Time delay* 0,1 detik

Data koordinasi rele arus lebih tipikal 3 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data *resetting* rele Tipikal 3

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
OCR_PLN_Load2-1	1750/5	<i>Pickup Lowset</i>	1575A
		<i>Time dial</i>	0,1
		<i>Pickup Higset</i>	8750A
		<i>Time delay</i>	0,1s
OCR Out 1 PLN-1	100/5	<i>Pickup Lowset</i>	87A
		<i>Time dial</i>	1,5
		<i>Pickup Higset</i>	1800A
		<i>Time delay</i>	0,3s
OCR_14-3	500/5	<i>Pickup Lowset</i>	475A
		<i>Time dial</i>	0,8
		<i>Pickup Higset</i>	3000A
		<i>Time delay</i>	0,5s
Relay12-1	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	360A
		<i>Time dial</i>	0,8
		<i>Pickup Higset</i>	2400A
		<i>Time delay</i>	0,1s

Hasil plot *time current curve* (TCC) rele pada tipikal 3 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan oleh gambar 4.18.



Gambar 4.18 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3

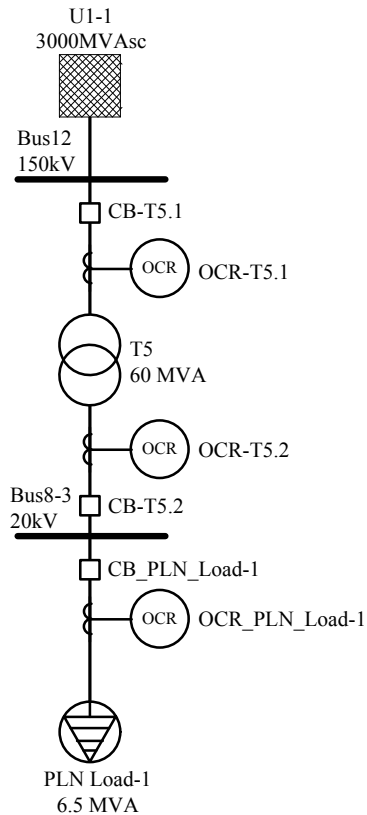
Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 3 terdapat beberapa perbaikan, diantaranya:

1. Pemasangan SFCL mengakibatkan arus hubung singkat menurun sehingga memperkecil *setting pickup highset* pada rele OCR_PLN_Load2-1, OCR Out 1 PLN-1, OCR_14-3 dan Relay12-1.
2. Pada Relay12-1 dilakukan penambahan nilai *time dial* sehingga Relay12-1 bekerja sebagai backup dari rele OCR_14-3.

4.3.6 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 4

Koordinasi rele arus lebih tipikal 4 merupakan jalur tipikal dari PLN 150kV hingga beban lump PLN Load-1. Tipikal 4 terdiri dari rele

OCR-T5.1, OCR-T5.1 dan OCR_PLN_Load-1. Gambar rangkaian tipikal 4 dapat dilihat pada gambar 4.17.



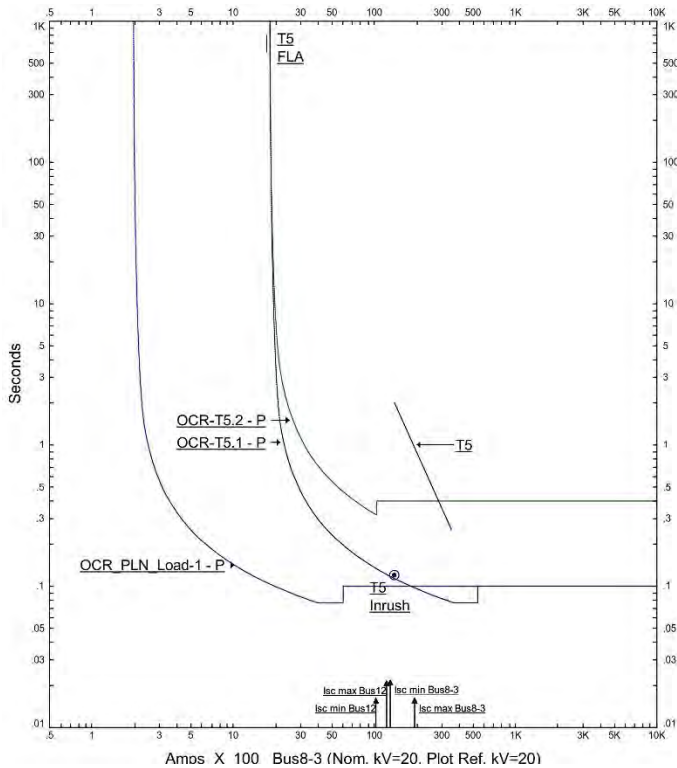
Gambar 4.19 Rangkaian Tipikal 4

Data awal *setting* rele arus lebih tipikal 4 sebelum dipasang SFCL ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Data awal *setting* rele Tipikal 4

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
OCR_PLN_Load-1	250/5	<i>Pickup Lowset</i>	197A
		<i>Time dial</i>	0,1
		<i>Pickup Higset</i>	10376A
		<i>Time delay</i>	0,1s
OCR-T5-2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	1818,6A
		<i>Time dial</i>	0,24
		<i>Pickup Higset</i>	10376A
		<i>Time delay</i>	0,4s
OCR-T5.1	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	242,4A
		<i>Time dial</i>	0,1
		<i>Pickup Higset</i>	8224A
		<i>Time delay</i>	0,1s

Hasil plot *time current curve* (TCC) tipikal 4 *setting* awal sebelum dipasang SFCL ditunjukkan oleh gambar 4.20.



Gambar 4.20 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 4

Pada kondisi awal tipikal 4 terdapat beberapa yang perlu diperhitungkan diantaranya:

1. Nilai *time dial* sangat kecil sehingga rele OCR_T5.1 mengenai inrush trafo T5 dan kurva rele OCR_T5.1 berada dibawah kurva rele OCR_T5.2.
2. Nilai *setting pickup highset* OCR_PLN_Load-1, OCR_T5.2 dan OCR_T5.1 melebihi 0,8 kali nilai Isc min.
3. Perlu adanya perhitungan ulang koordinasi rele arus lebih gangguan fasa setelah adanya penambahan SFCL karena terjadi perubahan nilai Isc max dan Isc min.

Dari hasil analisa diatas berikut ini merupakan perhitungan ulang *setting* rele pada tipikal 4.

a) Rele OCR PLN Load-1

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 250:5
FLA beban lump PLN Load-1	: 187,6A
Isc min Bus8-3	: 12210A
Isc max feeder beban lump	: 405A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

1,05 FLA beban Lump < I_{set} < 1,4 FLA beban Lump

$1,05 \times 187,6 < I_{set} < 1,4 \times 187,6$

$196,98 < I_{set} < 262,64$

$\frac{196,98}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{262,64}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{196,98}{250} I_n < \text{tap} < \frac{262,64}{250} I_n$

$0,788 I_n < \text{tap} < 1,051 I_n$

Dipilih tap $0,8 I_n$ (Range 0,3 – 2,4 I_n)

$I_{set} = 200 \text{ A}$

Time dial

Waktu operasi: 0,1 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{sc \text{ max feeder lump}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$0,1 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{405}{200} \right)^{0,02} - 1} \right] \times TD$$

$$TD = 0,030$$

Dipilih TD 0,2 (*Range* 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1,6 \text{ FLA beban Lump} < I_{set} < 0,8 \text{ isc min Bus8} - 3$$

$$1,6 \times 187,6 < I_{set} < 0,8 \times 12210$$

$$300,16 < I_{set} < 9768$$

$$\frac{300,16}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{9768}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{300,16}{250} I_n < \text{tap} < \frac{9768}{250} I_n$$

$$1,2 I_n < \text{tap} < 39,07 I_n$$

Dipilih tap 16 I_n (*Range* 1 – 24 I_n)

$$I_{set} = 4000 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,1 detik

b) Rele OCR-T5-2

Manufaktur	: Merlin Gerin
Model	: Sepam 1000
Tipe Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 2000:5
FLA Trafo T5	: 1732A
Isc min Bus8-3	: 12210A
Isc max feeder Bus8-3	: 11980A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1,05 \text{ FLA trafo T5} < I_{set} < 1,4 \text{ FLA trafo T5}$$

$$1,05 \times 1732 < I_{set} < 1,4 \times 1732$$

$$1818,6 < I_{set} < 2424,8$$

$$\frac{1818,6}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{2424,8}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{1818,6}{2000} I_n < \text{tap} < \frac{2424,8}{2000} I_n$$

$$0,909 I_n < \text{tap} < 1,212 I_n$$

Dipilih tap 0,92 I_n (*Range* 0,3 – 2,4 I_n)

$$I_{\text{set}} = 1840 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,3 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder lump}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,3 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{11980}{1840} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$\text{TD} = 0,244$$

Dipilih TD 0,5 (*Range* 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1,6 \text{ FLA trafo T5} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ isc Bus8} - 3$$

$$1,6 \times 1732 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 12210$$

$$2771,2 < I_{\text{set}} < 9768$$

$$\frac{2771,2}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{9768}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{2771,2}{2000} I_n < \text{tap} < \frac{9768}{2000} I_n$$

$$1,39 I_n < \text{tap} < 4,88 I_n$$

Dipilih tap 4,8 I_n (*Range* 1 – 24 I_n)

$$I_{\text{set}} = 9600 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *Time delay* 0,3 detik

c) Rele OCR-T5.1

Manufaktur : Merlin Gerin

Model : Sepam 1000

Tipe Kurva	: Standard Inverse
Rasio CT	: 300:5
FLA trafo T5	: 230,9A
Isc min Bus12	: 10210A
Isc max feeder Bus12	: 588A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$$1,05 \text{ FLA trafo} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA Trafo}$$

$$1,05 \times 230,9 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 230,9$$

$$242,445 < I_{\text{set}} < 323,26$$

$$\frac{242,445}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{323,26}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{242,445}{300} I_n < \text{tap} < \frac{323,26}{300} I_n$$

$$0,808 I_n < \text{tap} < 1,078 I_n$$

Dipilih tap $0,9 I_n$ (Range 0,3 – 2,4 I_n)

$$I_{\text{set}} = 270 \text{ A}$$

Time dial

Waktu operasi: 0,1 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder Bus12}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,1 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{588}{270} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$\text{TD} = 0,033$$

Dipilih TD 0,6 (Range 0,1 – 12,5)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$$1,6 \text{ FLA Trafo} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ isc min Bus12}$$

$$1,6 \times 230,9 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 10210$$

$$369,44 < I_{set} < 8168$$

$$\frac{369,44}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{8168}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{369,44}{300} I_n < \text{tap} < \frac{8168}{300} I_n$$

$$1,23 I_n < \text{tap} < 27,23 I_n$$

Dipilih tap 7 I_n (*Range* 1 – 24 I_n)

$$I_{set} = 2100 \text{ A}$$

Time delay

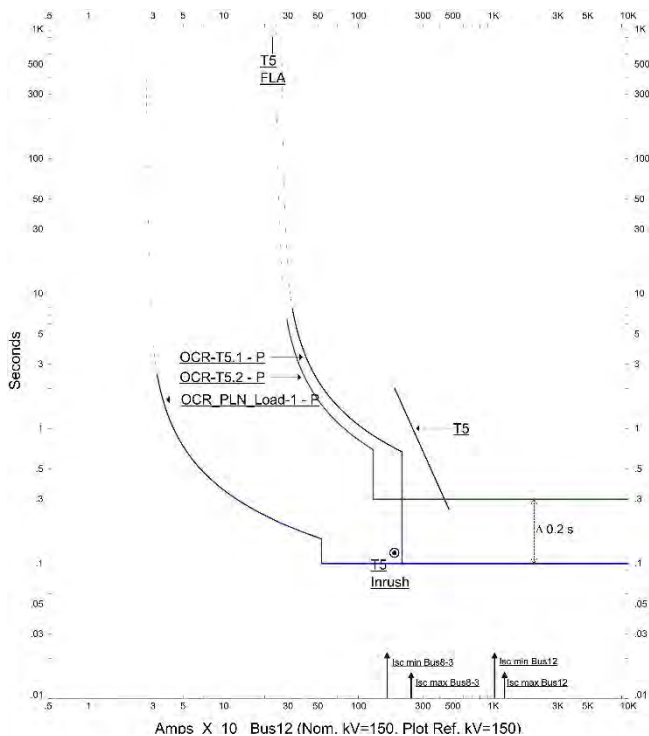
Dipilih *Time delay* 0,1 detik

Data koordinasi rele arus lebih tipikal 4 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Data *resetting* rele Tipikal 4

Relay ID	CT ratio	Setting	
OCR_PLN_Load-1	250/5	<i>Pickup Lowset</i>	200A
		<i>Time dial</i>	0,2
		<i>Pickup Higset</i>	4000A
		<i>Time delay</i>	0,1s
OCR-T5-2	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	1840A
		<i>Time dial</i>	0,5
		<i>Pickup Higset</i>	9600A
		<i>Time delay</i>	0,3s
OCR-T5.1	300/5	<i>Pickup Lowset</i>	270A
		<i>Time dial</i>	0,6
		<i>Pickup Higset</i>	2100A
		<i>Time delay</i>	0,1s

Hasil plot *time current curve* (TCC) rele pada tipikal 4 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan oleh gambar 4.21.



Gambar 4.21 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 4

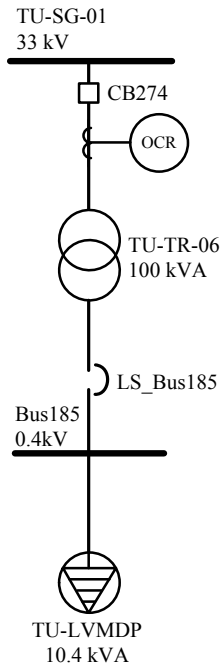
Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 4 terdapat beberapa perbaikan, diantaranya:

1. Nilai *setting pickup highset* pada rele OCR_PLN_Load-1, OCR_T5.2 dan OCR_T5.1 mengalami penurunan akibat dari pemasangan SFCL.
2. Pada rele OCR_T5.1 dilakukan penambahan nilai *time dial* sehingga kurva tidak membentur inrush trafo dan berada diatas kurva rele OCR_T5.2.

4.3.7 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa Tipikal 5

Koordinasi rele arus lebih Tipikal 5 merupakan jalur tipikal dari trafo TU-TR-06 hingga beban lump TU-LVMDP. Tipikal 5 terdiri

dari rele OCR_CB274. Gambar rangkaian Tipikal 5 dapat dilihat pada gambar 4.20.



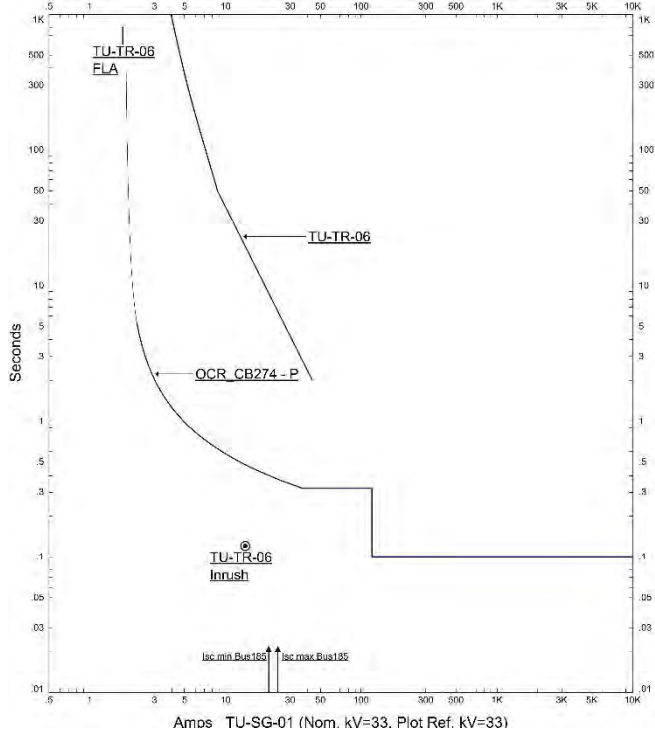
Gambar 4.22 Rangkaian Tipikal 5

Data awal setting rele arus lebih tipikal 5 sebelum dipasang SFCL ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Data awal *setting* rele Tipikal 5

<i>Relay ID</i>	<i>CT ratio</i>	<i>Setting</i>	
LS_Bus185	250	<i>LT Pickup</i>	320
		<i>LT Band</i>	Curve A
		<i>ST Pickup</i>	2000
		<i>ST Band</i>	Curve B
OCR_274	2000/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,5A
		<i>Time dial</i>	0,1
		<i>Pickup Higset</i>	120A
		<i>Time delay</i>	0,025s

Hasil plot *time current curve* (TCC) tipikal 5 setting awal sebelum dipasang SFCL ditunjukkan oleh gambar 4.23.



Gambar 4.23 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Pada Kondisi Awal Tipikal 5

Pada kondisi awal tipikal 5 perlu adanya perhitungan ulang koordinasi rele arus lebih gangguan fasa setelah adanya penambahan SFCL karena terjadi perubahan nilai Isc max dan Isc min.

Dari hasil analisa diatas berikut ini merupakan perhitungan ulang *setting* rele pada tipikal 5.

h) LVCB LS Bus185

Manufaktur	: ABB
Model	: E1B
Sensor ID	: 250

FLA beban lump TU_LVMDP : 16A
 Isc min Bus185 : 1720A

Long Time Pickup

1,05 FLA beban Lump < I_{set} < 1,4 FLA beban Lump

$1,05 \times 16 < I_{set} < 1,4 \times 16$

$16,8 < I_{set} < 22,4$

$\frac{16,8}{\text{Sensor ID}} I_n < \text{tap} < \frac{22,4}{\text{Sensor ID}} I_n$

$\frac{16,8}{250} I_n < \text{tap} < \frac{22,4}{250} I_n$

$0,06 I_n < \text{tap} < 0,09 I_n$

Dipilih tap $0,4 I_n$

$I_{set} = 100 \text{ A}$

Long Time Band

Dipilih *Long Time bend curve A*

Short Time Pickup

1,6 FLA beban Lump < I_{set} < 0,8 isc min Bus8 – 3

$1,6 \times 16 < I_{set} < 0,8 \times 1720$

$25,6 < I_{set} < 1376$

$\frac{25,6}{\text{Sensor ID}} I_n < \text{tap} < \frac{1376}{\text{Sensor ID}} I_n$

$\frac{25,6}{250} I_n < \text{tap} < \frac{1376}{250} I_n$

$1,2 I_n < \text{tap} < 5,5 I_n$

Dipilih tap $4 I_n$

$I_{set} = 1000 \text{ A}$

Short Time Band

Dipilih *Short Time bend curve B*

i) Rele OCR 274

Manufaktur : Merlin Gerin
 Model : Sepam 1000
 Tipe Kurva : Standard Inverse
 Rasio CT : 5:5

FLA primer trafo TU-TR-06 : 1,75A
 Isc min bus TU-SG-01 : 3900A
 Isc max bus TU-SG-01 : 6260A

Time Overcurrent Pickup (Low Set)

$1,05 \text{ FLA trafo} < I_{\text{set}} < 1,4 \text{ FLA trafo}$

$1,05 \times 1,75 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 1,75$

$1,838 < I_{\text{set}} < 2,45$

$\frac{1,838}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{2,45}{\text{primer CT}} I_n$

$\frac{1,838}{5} I_n < \text{tap} < \frac{2,45}{5} I_n$

$0,368 I_n < \text{tap} < 0,49$

Dipilih tap $0,4 I_n$ (Range $0,3 - 2,4 I_n$)

$I_{\text{set}} = 2 \text{ A}$

Time dial

Waktu operasi: 0,3 detik

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{\text{pickup}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$t = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{I_{\text{sc max feeder lump}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$$0,3 = \left[\frac{0,047}{\left(\frac{6260}{2} \right)^{0,02} - 1} \right] \times \text{TD}$$

$\text{TD} = 0,372$

Dipilih TD 1,5 (Range $0,1 - 12,5$)

Instantaneous Current Pickup (High Set)

$1,6 \text{ FLA trafo} < I_{\text{set}} < 0,8 \text{ isc max bus TU} - \text{SG} - 01$

$1,6 \times 1,75 < I_{\text{set}} < 0,8 \times 3900$

$2,8 < I_{\text{set}} < 3120$

$$\frac{2,8}{\text{primer CT}} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{\text{primer CT}} I_n$$

$$\frac{2,8}{5} I_n < \text{tap} < \frac{3120}{5} I_n$$

$$0,56 I_n < \text{tap} < 624 I_n$$

Dipilih tap 6 I_n (*Range* 1 - 24 I_n)

$I_{\text{set}} = 30 \text{ A}$

Time delay

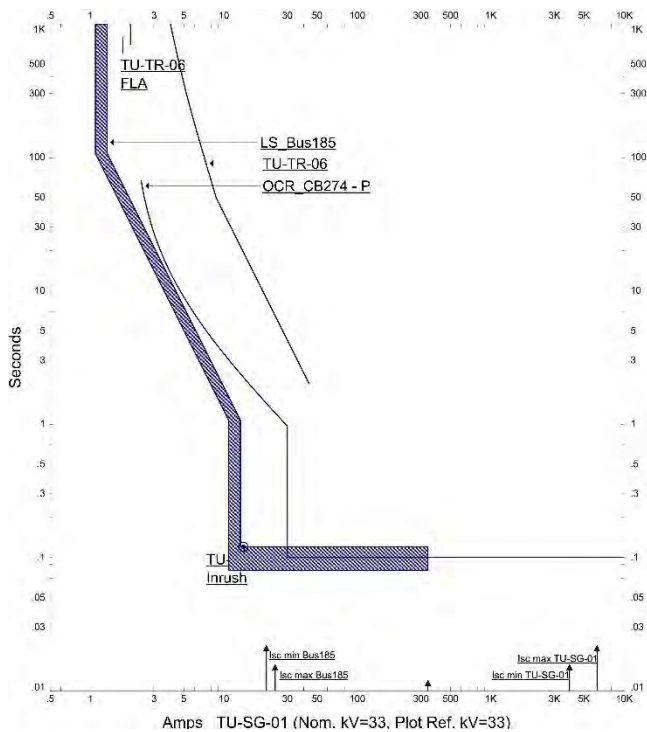
Dipilih *Time delay* 0,1 detik

Data koordinasi rele arus lebih tipikal 5 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Data *resetting* rele Tipikal 5

Relay ID	CT ratio	Setting	
LS_Bus185		<i>LT Pickup</i>	100A
		<i>LT Band</i>	Curve A
		<i>ST Pickup</i>	1000A
		<i>ST Band</i>	Curve B
OCR_274	5/5	<i>Pickup Lowset</i>	2A
		<i>Time dial</i>	1,5
		<i>Pickup Higset</i>	30A
		<i>Time delay</i>	0,1s

Hasil plot *time current curve* (TCC) rele pada tipikal 5 setelah dipasang SFCL dan dilakukan *resetting* ditunjukkan oleh gambar 4.24.



Gambar 4.24 Kurva Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 5

Berdasarkan data *resetting* dan plot kurva kerja rele dari perhitungan ulang pada tipikal 5 setelah dilakukan pemasangan SFCL mengakibatkan arus hubung singkat menurun sehingga perlu untuk memperkecil *setting pickup highset* rele OCR₂₇₄.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa penggunaan *Hybrid Superconducting Fault Current Limiter* (SFCL) pada sistem proteksi di Tursina, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sebelum dilakukan pemasangan *hybrid* SFCL, nilai arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada *incoming feeder* Tursina sebesar 16,1kA sedangkan setelah dilakukan pemasangan *hybrid* SFCL nilai arus hubung singkat 3 fasa menjadi 3,44kA.
2. Ketika diberi gangguan didalam *incoming feeder* Tursina, sebelum dipasang *hybrid* SFCL, terjadi kesalahan koordinasi yaitu rele diluar kawasan Tursina bekerja. Ketika dipasang *hybrid* SFCL kerja rele menjadi sesuai pada titik terjadi gangguan serta keandalan sistem meningkat.
3. Pemasangan *hybrid* SFCL diletakkan pada *incoming feeder* Tursina karena memiliki nilai arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle terbesar dari *feeder-feeder* lainnya.
4. SFCL yang digunakan adalah *hybrid* SFCL dengan nilai resistansi sebesar 4,356 Ω . Pada *hybrid* SFCL, Superkonduktor difungsikan sebagai media switch arus hubung singkat menuju *Current Limiting Reactor* (CLR) dengan memanfaatkan kenaikan impedansi dari superkonduktor.
5. Waktu *switch* yang dibutuhkan superkonduktor adalah 0.001s sedangkan waktu operasi yang dibutuhkan untuk mereduksi arus hubung singkat sebesar 0.002s.
6. Penambahan *hybrid* SFCL mengakibatkan nilai arus hubung singkat menurun sehingga dilakukan koordinasi ulang proteksi di Tursina.
7. Pemasangan *hybrid* SFCL sebagai pengaman adalah cara yang tepat karena tidak perlu dilakukan *setting* ulang pada sistem utama *ring* PKT melainkan hanya pada kawasan Tursina.

5.2. Saran

1. Diharapkan studi ini dapat dikembangkan dengan menggunakan software lain dan dengan metode lain agar didapat hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R Wahyudi, Ir, *Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik*, 2008
- [2] Ontoseno Penangsang. Prof, *Diktat Kuliah Analisis Sistem Tenaga 2*, 2008
- [3] Hyun, Ok-Bae, *Introduction of a Hybrid SFCL in KEPCO Grid and Local Points at Issue*, in IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol.19, No. 3, JUNE 2009
- [4] Lim, Sung-hun, *Analysis on Protection Coordination of Hybrid SFCL With Protective Devices in a Power Distribution System*, in IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol.21, No. 3, JUNE 2011
- [5] Hyun, Ok-Bae, *Current–Time Characteristics of Resistive Superconducting Fault Current Limiters*, in IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol.22, No. 2, APRIL 2012
- [6] B. W. Lee, K. B. Park, J. Sim, *Study and Experiments of Novel Hybrid Type Superconducting Fault Current Limiters*, in IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol.18, No. 2, JUNE 2008
- [7] American National Standards Institute, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System, *IEEE Std 242-1986*
- [8] Lazar.Irwin , *Electrical System Analysis and Design for Industrial Plants*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Mufidah Sa'adah dilahirkan di Surabaya – Jawa Timur pada Tahun 1992. Penulis memulai pendidikan di SDN Jambangan II/550 Surabaya dan melanjutkan pendidikan SMPN 21 Surabaya dan SMAN 18 Surabaya. Pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma di D3 Teknik Elektro Industri PENS-ITS dengan konsentrasi bidang studi Teknik Elektro Industri. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan untuk jenjang sarjana.

Pendidikan sarjana ditempuh di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di jurusan teknik elektro dengan konsentrasi bidang studi Sistem Tenaga. Pada tahun 2016 penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjana.

Halaman ini sengaja dikosongkan